

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### CONTAMINACIÓN CON ELEMENTOS TRAZA EN SUELOS CULTIVADOS CON HORTALIZAS

### CONTAMINATION WITH TRACE ELEMENTS IN SOILS CULTIVATED WITH VEGETABLES

**Anaya Andrade, Jonathan Esmith<sup>1</sup>, González-Pedraza, Ana F<sup>2\*</sup>, Castellano González,  
Leónides<sup>3</sup>**

**Anaya. A Jonathan<sup>1</sup>, González. P, Ana<sup>2\*</sup>, Castellano. G, Leónides<sup>3</sup>**

*Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias* <sup>1</sup> Departamento de Agronomía – Correo electrónico: [jhonatananayaandrade@gmail.com](mailto:jhonatananayaandrade@gmail.com), Km. 1 Vía Bucaramanga, Código Postal 5430, Pamplona - Norte de Santander- Colombia<sup>2</sup>

*Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias* <sup>2</sup> Departamento de Agronomía – Correo electrónico: [anagonzalez11@gmail.com](mailto:anagonzalez11@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-4392-3724> Km. 1 Vía Bucaramanga, Código Postal 5430, Pamplona - Norte de Santander- Colombia<sup>2</sup>

*Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias* <sup>3</sup> Departamento de Agronomía – Correo electrónico: [lccastell@gmail.com](mailto:lccastell@gmail.com) Km. 1 Vía Bucaramanga, Código Postal 5430, Pamplona - Norte de Santander- Colombia<sup>2</sup>

Recibido 21 de octubre 2020; aceptado 30 de noviembre de 2020

#### RESUMEN

---

El cultivo de hortalizas en suelos contaminados con metales pesados o elementos traza representan una seria amenaza para la salud humana debido al riesgo de incorporación de éstos en la cadena alimentaria. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar las evidencias científicas de la presencia de elementos traza en suelos cultivados con hortalizas. El enfoque de esta investigación fue cualitativo en el cual se hizo una revisión sistemática de la literatura y un análisis documental con un alcance de tipo descriptivo. Para ello, se llevó a cabo una compilación de artículos científicos de los últimos 10 años publicados en revistas nacionales e

internacionales a fin de presentar las evidencias científicas de contaminación de suelos agrícolas con metales pesados y resaltar las fuentes de contaminación con elementos trazas. De acuerdo con los resultados, la literatura disponible a nivel nacional sobre la presencia de metales pesados en suelos cultivados con hortalizas es relativamente escasa y se concentran en zonas agrícolas de Cundinamarca, Córdoba y Norte de Santander. Las principales fuentes de contaminación estuvieron asociadas a la aplicación de riego con aguas residuales contaminadas e inadecuadamente tratadas, cultivos agrícolas cerca de áreas mineras, industriales y actividad minera cerca de los sitios de cultivo, zonas urbanas, entre otras. En algunos de los estudios se reportó alta transferencia de elementos traza del suelo a los tejidos vegetales de las hortalizas que luego son consumidas por los humanos lo que puede desencadenar problemas de intoxicación y daños a la salud de las personas

\*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia Ana González E-mail: [anagonzalez11@gmail.com](mailto:anagonzalez11@gmail.com)

**Palabras clave:** Agricultura, contaminación, metales pesados.

## ABSTRACT

---

The cultivation of vegetables in soils contaminated with heavy metals or trace elements represent a serious threat to human health due to the risk of their incorporation into the food chain. Therefore, the objective of this work is to analyze the scientific evidence of the presence of trace elements in soils cultivated with vegetables. The focus of this research was qualitative in which a systematic review of the literature and a documentary analysis with a descriptive scope were made. To this end, a compilation of scientific articles from the last 10 years published in national and international journals was carried out in order to present the scientific evidence of

contamination of agricultural soils with heavy metals and highlight the sources of contamination with trace elements. According to the results, the literature available at the national level on the presence of heavy metals in soils cultivated with vegetables is relatively scarce and they are concentrated in agricultural areas of Cundinamarca, Córdoba and Norte de Santander. The main sources of contamination were associated with the application of irrigation with contaminated and inadequately treated wastewater, agricultural crops near mining areas, industrial and mining activity near cultivation sites, urban areas, among others. In some of the studies, a high transfer of trace elements from the soil to the plant tissues of vegetables that are later consumed by humans was reported, which can trigger intoxication problems and damage to health of the people

**Key words:** Agriculture, heavy metals, pollution.

## INTRODUCCIÓN

---

El suelo es indispensable y determinante para la estructura y el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes. Las funciones específicas que un suelo proporciona se rigen en gran medida por el conjunto de propiedades químicas, biológicas y físicas que se hallan en dicho suelo. Así mismo, los suelos son una reserva clave de biodiversidad mundial que abarca desde los microorganismos hasta la flora y la fauna. Esta biodiversidad tiene una función fundamental en el respaldo a las

funciones del suelo y por tanto, a los bienes y servicios ecosistémicos asociados con los suelos (FAO, 2015).

Los metales pesados se refieren a un grupo de elementos tóxicos que se liberan en los suelos por fuentes naturales y antropogénicas. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos se producen

por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los residuos sólidos urbanos (Galán y Romero 2008).

Los suelos son el principal sumidero de metales pesados liberados al medio ambiente por actividades antropogénicas y su concentración puede persistir durante mucho tiempo después de su introducción. Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos (Wuana y Okieimen 2011).

Los metales pesados pueden afectar negativamente la respiración y metabolismo de los microorganismos del suelo, reducir el número de microorganismos benéficos, inhibir la biodegradación de contaminantes orgánicos, disminuir la descomposición de la materia orgánica y aportes de nutrientes al suelo y en consecuencia afectar el crecimiento de las plantas (Igiri *et al.*, 2018).

En los suelos los elementos traza más abundantes se han clasificado en cinco categorías, dependiendo de la forma química en la que se encuentran en la solución del suelo: cationes ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ), metales nativos (Hg, V), oxianiones ( $\text{AsO}_4^{-3}$ ,  $\text{CrO}_4^{-2}$ ,  $\text{MnO}_4^{-2}$ ,  $\text{HSeO}_3^-$ ,  $\text{SeO}_4^{-2}$ ), halogenuros ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ), y órgano complejos (Ag, As,

Hg, Se, Te, Tl). Algunos elementos pueden aparecer con más de una forma, por lo tanto, no son mutuamente excluyentes (Galán y Romero, 2008). Las concentraciones de Cr, Ni, Pb, y Zn normalmente varían entre 1-1500  $\text{mg kg}^{-1}$ , las de Co, Cu y As entre 0,1 y 250  $\text{mg kg}^{-1}$  y en menor proporción Cd y Hg (0,01-2  $\text{mg kg}^{-1}$ ).

De los elementos traza antes, hay 17 que han sido categorizados como muy tóxicos (Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl y Zn), y además, su mayor peligrosidad está en su fácil disponibilidad en muchos suelos en donde sus concentraciones pueden superar los niveles de toxicidad. Diez de los elementos antes mencionados (Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl) son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos (Galán y Romero, 2008).

Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, especialmente los que se encuentran disponibles en la solución del suelo (Wuana y Okieimen 2011). De acuerdo con Peris (2006) la

fitotoxicidad producida por la elevada concentración de metales pesados afecta al crecimiento y desarrollo vegetal. Los efectos negativos en las plantas son diversos. Algunos de los más destacables son la alteración de las relaciones planta-agua; el incremento de la permeabilidad de las raíces, que las hace menos selectivas para la absorción de elementos desde el medio; la inhibición de la fotosíntesis y respiración; y la modificación de las actividades de algunas enzimas metabólicas.

Aspectos como la toxicidad específica, la bioacumulación, la persistencia y la no biodegradabilidad de los metales pesados guardan una relación directa con los riesgos por contaminación de los suelos, toxicidad en las plantas y los efectos negativos sobre la salud de las personas (Martínez *et al.*, 2017).

Los suelos contaminados con metales pesados representan una seria amenaza para la salud humana a través de la ingestión directa o el contacto con el suelo contaminado, incorporación en la cadena alimentaria (suelo-planta-humano o suelo-planta-animal-humano) o consumo de agua subterránea contaminada (Oves *et al.*, 2016). Según la literatura, los metales pesados pueden causar varios trastornos en los humanos, como enfermedades cardiovasculares, cáncer, deterioro

cognitivo, anemia crónica, daño de los riñones, el sistema nervioso, el cerebro, la piel y los huesos (Järup, 2003).

Durante los últimos años se ha incrementado la contaminación de los suelos y del ambiente con metales pesados debido a las actividades industriales, agrícolas y domésticas. La contaminación de suelos y aguas subterráneas por metales es uno de los principales problemas medioambientales en los países industrializados y en vías de desarrollo. La acción tóxica de los metales pesados sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos sulfhidrilos y otros grupos funcionales de las proteínas y enzimas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos, desplazando otros iones metálicos o modificando la conformación activa de moléculas biológicas (Vullo, 2003).

Cada día aumenta más la preocupación tanto a nivel nacional como internacional por la presencia de metales traza en hortalizas, ya que son productos que son parte de la dieta diaria de las personas y la mayoría de las veces se consumen en fresco aumentando así la posibilidad de que estos contaminantes presentes en los

vegetales lleguen al organismo y puedan causar daños considerados.

La producción de hortalizas en Colombia, en términos generales, es una actividad riesgosa caracterizada por cultivos pequeños, dispersos, uso de mano de obra no calificada, carencia de tecnología, mal manejo pos cosecha entre otros. Los metales pueden acumularse en los cultivos, ya sea a través de su absorción por el agua de riego contaminada, por la tierra a través de las raíces o por la deposición en el follaje de partículas aerotransportadas (Arrieta et al. 2020).

De igual manera estudios internacionales han demostrado las altas concentraciones de metales traza en hortalizas y las diferentes fuentes que provocan esta

contaminación. Se tiene preocupación constante por la calidad de cultivos en áreas donde existe un alto tráfico vehicular, ya que el aumento de todas las concentraciones de metales en la proximidad a la carretera sugiere fuentes de emisiones de vehículos, una mayor carga de tráfico global aumenta el contenido de metales traza en la biomasa (Vázquez et al. 2019).

Para abordar más a fondo esta problemática, en este trabajo se realizó una revisión y análisis de los trabajos publicados en los últimos diez años sobre la presencia de metales pesados o elementos traza en cultivos de hortalizas identificando sus concentraciones y las principales fuentes de contaminación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### **Presencia de elementos traza en suelos cultivados con hortalizas**

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura publicada en los últimos 10 años que refieren la presencia de metales traza en suelos cultivados con hortalizas. En la tabla 1 se reportan seis estudios a nivel

nacional y 28 trabajos internacionales. En la mayoría de los estudios analizados se pudo precisar el tipo de cultivo establecido, la concentración de los elementos traza encontrados, la fuente responsable de la contaminación, así como el lugar donde fue reportado.

**Tabla 1.** Presencia de metales pesados en hortalizas a nivel nacional e internacional

Cultivo	Tipo de metal y concentración (mg kg <sup>-1</sup> )	Fuente	Lugar, País	Referencia
Zanahoria Perejil Alcachofa	Zanahoria Cd 0,15; Co 0,10; As 1,54; Zn 2,87; Pb 6,96; Ni 4,17; Cu 8,99; Cr 5,70; Perejil Cd 0,15; Co 0,02; As 2,22; Zn 6,37; Pb 9,46; Ni 1,67; Cu 19,47; Cr 15,46 Alcachofa Cd 0,17; Co 0,09; As 3,73; Zn 4,17; Pb 7,24; Ni 3,22; Cu 17,57; Cr 6,16	Aguas de riego	Sibaté, Cundinamarca, Colombia	Herrera y Lizarazo, (2018)
Diferentes cultivos agrícolas	Hg 0,06-0,26 Fe 20,60-310,90 Cu 59,84 -1453,58	Explotación minera informal	Córdoba, Colombia	Martínez et al. (2017)
Zonas agrícolas	Cd 0,1-170; Co 1-12; Cr 66-245; Cu 1-300; Mn 40-2000; Ni 7-38; Pb 7-225; Zn 50-1450	Agua de riego	Colombia	Mahecha-Pulido et al. (2017)
Repollo, Cebollín Cebolla	Cd 85% Pb 72%	Minería y refinería de hidrocarburos	Norte de Santander, Colombia	Arrieta-Soto et al. (2016)
Acelga	Pb 14,7 (suelo) Pb 0 (material vegetal)	Agua de riego y atmósfera.	Bogotá, Cundinamarca	Vega y Salamanca (2016)
Lechuga Apio Repollo Brócoli	Lechuga y Apio: Cd 0,40 y 0,43 peso fresco, respectivamente. Repollo y Brócoli Pb < 0,05 y < 0,06 en peso fresco, respectivamente.	Agua de riego	Mosquera, Cundinamarca, Colombia	Miranda et al. (2008)
Lechuga, tomate	Tomate Cd<0,058 Pb 0,145 Lechuga Cd 0,034; Pb 0,066	Industrial, comercial, tráfico pesado.	Quito, Ecuador	Romero-Estévez et al. (2020)
Cebollín	Cd 0,0188-0,030 Pb 0,040-0,058 Ni 5,1-6,9; Co 0,085-0,12 Sr 0,84-0,95; Cu 0,44-0,61 Zn 5,0-6,16; K 652-829 Mg 128-147; Fe 8,6-10,3 Mn 1,43-1,61	Emisiones de gas, cenizas y lava.	Ecuador	Briceño et a. (2020)
Zanahoria, ajo, cebolla, nabo, tomate, coliflor, brócoli, cebollín, lechuga, aba.	Ar 0,056; Cd 0,375; Co 0,029; Cu 7,638; Hg 0,163; Ni 0,299 Pb 0,580; Sb 0,163; Ti 0,128	Emisiones industriales	Polonia	Gruszecka-Kosowska (2019)

Lechuga	Pb 0,0765	Vehículos combustibles.	y	Azuay, Ecuador	Vázquez et al. (2019)
Lechugas y habas	As por encima del límite máximo permisible	Suelos ricos en As y aguas de riego contaminadas con As		Pastos Chicos, Jujuy, Argentina.	Yañez et al. (2019)
Papa	Cu 0,83 Cr nulo Pb 0,08 Cd 0,02 Zn 7,16	Aguas residuales tratadas inadecuadamente		Egipto	El-Kady y Abdel-Wahhab (2018)
Col China	Cd 0,12-1,70	Parcelas experimentales con suministro exógeno de Cd		China	Lu et al. (2017)
Soya	Metales (Pb y Zn) muy por encima de los límites máximos permisibles	Residuos industriales (baterías) en Suelo		Argentina	Rodríguez et al. (2014)
Zanahoria, rábano blanco, repollo, col china, lechuga, alcaravea, espinaca, repollo chino, Pai-tsai, Caitai rojo, Caitai blanco	Pb 0,004-2,361 Cd 0,002-2,918 Cu 0,155-3,125 Zn 1,151-54,65 As 0,014-1,780	Minería		Hunan, Chenzhou, China	Zhou et al. (2016)
Zanahoria, col	Zn 40,708-448,469 As 2700-5460,060 Fe 11809, 818-25626,379 Pb 0,119-1,596	Quema de combustibles fósiles, riego con aguas residuales, eliminación de residuos solidos		India	Tasrina et al. (2015)
Coles de Bruselas, Repollo Coliflor, Zanahoria, Tomate.	Cd (ng g <sup>-1</sup> f.wt) Coles de Bruselas 6,8 Repollo 3,2 Coliflor 1,8 Zanahoria 26,6 Tomate 2,5 Pb (ng g <sup>-1</sup> f.wt) Coles de Bruselas 36,9 Repollo 5,4 Coliflor 4,0 Zanahoria 24,1 Tomate 4,0	Suelo cultivado		Reino unido	Norton et al. (2015)
Trigo, tomate, rábano, espinaca, berenjena, zanahoria, ajo, cilantro	Cr > 0,18 Pb 0,91-3,96	Aguas subterráneas contaminadas con metales pesados		Pakistán	Khan et al. (2013)
Hortalizas	Cu 0,06-4,71 Pb <0,08-0,28 Zn 0,3-20,7 Cd <0,025-0,100	Deposiciones procedentes del vertedero de las avenidas con alto tráfico vehicular y la inundación de los suelos con aguas contaminadas		Habana, Cuba	Olivares (2013)
Hortalizas	Cd 0,007-0,053 Pb 0,62-3,0	No reporta		Hon Kong, China	Hu et al. (2013)

	Cr 0,05-0,17 Ni 0,05-0,24 Cu 0,26-1,1 Zn 0,96-4,3			
Colinabo, zanahoria	Pb 2,3 Cu 5,4 Ni 0,4 Cr 0,39	Contaminación atmosférica por el tráfico.	Berlín, Alemania	Säumel et al (2012)
Perejil Zanahoria Cebolla Lechuga Pepino	Fe 106,75 Mn 10,47 Zn 16,30 Cd 0,09 Cu 4,79 Pb 0,90	Minería contaminada	Condado de Banat, Rumanía	Harmanescu et al. (2011)

Fuente: Autor

La literatura disponible a nivel nacional sobre la presencia de metales pesados en suelos cultivados con hortalizas es relativamente escasa. Los estudios analizados dan cuenta de la presencia de metales pesados en suelos de zonas agrícolas de Cundinamarca, Córdoba y Norte de Santander.

De acuerdo con los resultados presentados por Herrera y Lizarazo (2018) en los que se cuantificó la presencia de metales pesados en hortalizas producidas en la cuenca media del río Bogotá, Sibaté, todos los elementos evaluados excedieron los límites permisibles tanto nacional como internacionalmente tanto en el suelo como en la planta. La presencia de esos metales en los suelos fue atribuida al agua de riego proveniente de embalse del Muña en el municipio Sibaté, en los que se han encontrado concentraciones altas ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de arsénico: 32-52; plomo: 0,9-3,4; cromo: 5,3-16,5; cadmio: 0,16-1,3; mercurio: 0-

0,61, cuyos niveles se consideran tóxicos. Otras de las fuentes de metales pesados señaladas provienen de las emanaciones de la zona industrial cercana a las áreas cultivadas.

En los suelos cultivados con zanahoria y perejil se encontraron altas concentraciones de cobre (62%), cromo (17%) y plomo (13%) con porcentajes de transferencias hacia la planta de 1, 3 y 5%, respectivamente para el caso del cultivo de zanahoria y 3, 8 y 6% en el perejil. En los suelos bajo alcachofa se encontraron concentraciones de cobre de 72%, cromo de 10% y 11% de plomo con porcentajes de transferencias hacia la planta de 2, 10 y 4%. Metales como el cadmio se encontró en bajo porcentaje en el suelo (0,67%) pero con porcentaje de transferencia hacia la planta de 13% en zanahoria y perejil.

De acuerdo con estos resultados es posible señalar la amenaza que esto representa a la salud pública de acuerdo con cada

elemento y los riesgos de enfermedades. Se enfatiza que la legislación en Colombia carece de normatividad para todos los metales, actualmente solo existen datos de permisividad de dos metales únicamente, como lo son Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), metales cuya presencia en las especies analizadas, exceden los límites; por esta parte se ve la falta de control con respecto a un tema tan importante que trae repercusiones en la salud.

En la zona minera del Alacrán, municipio de Puerto Libertador, departamento de Córdoba, Martínez et al. (2017) reportan altas concentraciones de hierro y cobre por encima de los límites máximos permisibles según la normativa internacional. Tales contaminantes provienen de la explotación minera informal de oro cuyos suelos están siendo utilizados para la actividad agrícola sin considerar el grave impacto ambiental que ello ocasiona.

En una recopilación de estudios llevada a cabo por Mahecha-Pulido *et al.*, (2017) se identificó la presencia de diferentes metales pesados en áreas agrícolas a nivel nacional los cuales se destacan según el nivel de concentración en el siguiente orden: Cd > Pb > Hg > Cr > Ni > Cu = Zn = As > Mn > Fe, destacándose el Cd, Pb, Hg y Cr. Según lo reportan los mencionados autores, la producción científica en Colombia

relacionada con la presencia de metales pesados en la producción agrícola (suelo, cultivos o insumo) es relativamente baja, con un importante sesgo hacia la región Andina y Caribe del país, mientras que otras regiones de importancia agrícola como la Orinoquia son pocos los estudios publicados en los últimos años.

Es importante señalar que los estudios llevados a cabo a nivel nacional en los últimos diez años relacionados con la presencia de metales cultivados con hortalizas han sido bastante escasos.

En un estudio realizado por Vega y Salamanca (2016) se determinó los contenidos de presente en suelos cultivados con acelga común (*Beta vulgaris* L.) producida en el contexto de la agricultura urbana: Adicionalmente se evaluó las concentraciones de este elemento en el agua para riego, con la finalidad de obtener un diagnóstico preliminar sobre los contenidos de este metal pesado en estas dos posibles fuentes de contaminación: Los resultados arrojaron como resultado 0 ppm de plomo. Según los autores, en las condiciones de su investigación se demostró que la producción agrícola urbana es una realidad factible que fomenta en gran medida la seguridad alimentaria.

En el estudio realizado por Arrieta-Soto et al. (2020) en el departamento de Norte de Santander, se determinaron los niveles de Cd, Cu y Pb en los sub productos hortícolas de cebollín, lechuga y repollo realizando un muestro intencional en cinco veredas del municipio en el cual se tomaron muestras por triplicado de cebollín, lechuga y repollo. Los resultados arrojaron una mayor concentración de Cd y Pb en lechuga cultivada en la vereda Juan Pérez (85 y 72%, respectivamente). La problemática verificada por este estudio es relevante debido a que los pequeños y medianos productores proveen a las principales centrales de abasto de estos productos en la región.

El uso del agua para riego del río Bogotá ha ocasionado diversos problemas de contaminación en los cultivos de hortalizas que se encuentran en la Sabana de Bogotá, tal y como lo reportan Miranda et al. (2008) donde mencionan el cultivo de lechuga y apio con una concentración de Cd de 0,40 y 0,43 mg kg<sup>-1</sup> de peso fresco respectivamente, superando el límite de la norma de la Unión Europea. De acuerdo con esto, es de gran importancia que los suelos hortícolas urbanos sean monitoreados considerando el riesgo de entrada de metales en la cadena alimentaria.

Al analizar la literatura internacional se encontró el trabajo publicado por Romero-Estévez et al. (2018) en el que se demostró la presencia de cadmio y plomo en partes comestibles de tomate y lechuga provenientes de los principales mercados orgánicos y no orgánicos de Quito. En Ecuador, dos de los cultivos más consumidos son el tomate (*Solanum lycopersicum*) y lechuga (*Lactuca sativa*). Los resultados mostraron que los niveles de cadmio fueron menores a 0,058 en tomates y 0,034 mg kg<sup>-1</sup> en lechugas. En cuanto al plomo, se detectaron niveles inferiores a 0,066 mg / kg en lechugas, mientras que los niveles en tomates estuvieron cerca o excedieron el valor umbral (0,100 mg kg<sup>-1</sup>). Los autores recomiendan que esta información debe ser considerada por los agricultores para poder utilizar técnicas de remediación que reduzcan la presencia de metales traza en sus cultivos.

Por su parte, Briceño et al. (2020), evaluó el contenido de los metales cadmio, plomo, níquel, estroncio, cobalto, cobre y cinc) y nutrientes (potasio, magnesio, hierro y manganeso provenientes de las emisiones del volcán Tungurahua, ubicado en la cordillera oriental de Ecuador y presentes en suelos agrícolas, así como su biodisponibilidad y el contenido en el cultivo de *Allium fistulosum* L. Los resultados mostraron que el contenido de metales,

tanto en las muestras de suelo como en la cebolla de rama, estuvo por debajo de los valores máximos permitidos en las normas locales para todos los metales estudiados; además, la ingesta del metal por la cebolla de rama fue independiente de la fracción biodisponible. Esta respuesta es atribuida a que la cebolla de rama es de ciclo corto, lo cual limita su exposición a los metales por periodos prolongados, considerando que las plantas absorben metales en diferentes grados dependiendo de la especie vegetal y de la exposición del metal.

En Polonia, Gruszecka-Kosowska (2019) evaluó la presencia de elementos potencialmente dañinos (PHE) (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Tl y Zn en ocho grupos de hortalizas cultivadas en suelos arables. Adicionalmente se estimaron los índices de transferencia del suelo a la planta y la contribución de los PHE a las tasas de ingesta diaria a través del consumo de verduras y los riesgos para la salud a partir del contenido de PHE en las verduras consumidas. Según lo reportado por los autores antes mencionado, las concentraciones de PHE ( $\text{mg kg}^{-1}$  de peso húmedo) no superaron los límites máximo permisibles por la Unión Europea.

Este autor señala que a diferencia de otras zonas en las que las parcelas de huertas se encuentran ubicadas en ciudades altamente industrializadas, donde los niveles

permisibles de PHE son significativamente altos, las hortalizas investigadas en el estudio se cultivaron en suelos arables totalmente aptos para la agricultura. Por otro lado, las concentraciones de PHE esenciales disminuyeron de la siguiente manera: raíz > hoja > semilla > tubérculo > leguminosa > inflorescencia > brote > fruto. Los factores de transferencia de suelo a planta revelaron capacidades para adsorber Cd, Hg y Tl en las raíces; Cd, Hg, Tl y Zn en hojas; Cd, Hg y Sb en tubérculos; y Cu, Sb y Zn en leguminosas y semillas.

Por otro lado, las tasas de ingesta diaria, como porcentaje de la ingesta diaria máxima tolerable permisible, ascendieron a las siguientes proporciones: Cd 23%, Tl 13%, Hg 5,0%, Ni 3,1%, Pb 2,6% y As 0,4%. El riesgo no cancerígeno descrito como cociente de peligro (HQ) se superó en las hortalizas de raíz (HQ = 12,1), de hoja (HQ = 2,1) y de tubérculo (HQ = 1,4). El riesgo carcinogénico de As (CR =  $8,54 \times 10$  como porcentaje de la ingesta diaria máxima tolerable permisible, ascendió a las siguientes proporciones: Cd 23%, Tl 13%, Hg 5,0%, Ni 3,1%, Pb 2,6% y As 0,4%. El riesgo no cancerígeno descrito como cociente de peligro (HQ) se superó en las hortalizas de raíz (HQ = 12,1), de hoja (HQ = 2,1) y de tubérculo (HQ = 1,4). Los márgenes de exposición para adultos (MOE = 3,1) y niños (MOE = 1,6),

respectivamente, indicaron un bajo riesgo para la salud del Pb en las verduras consumidas.

En un trabajo llevado a cabo por Vázquez et al. (2019) se compararon los niveles de plomo en un cultivo de lechuga bajo condiciones de invernadero y a cielo abierto, en la provincia del Azuay, sierra sur del Ecuador. Los valores promedio de concentración de plomo en el follaje de las lechugas producidas a cielo abierto fueron mayor que las producidas bajo invernadero, aunque estos valores estuvieron por debajo de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Características como el tipo de sustrato utilizado, pH, alto contenido de materia orgánica, concentración de plomo, exceso de calcio y fósforo, no permiten una fácil movilidad del Pb en el suelo, por lo que difícilmente las hortalizas absorbieron plomo de este, con lo que se podría considerar que la fuente de contaminación de las lechugas con plomo no proviene de vehículos y combustibles.

El uso de aguas de riego con altos contenidos de metales pesados constituye otra fuente de contaminación de los suelos, así como los cultivos que en ellos se establezcan. En una investigación llevada a cabo por Yañez et al (2019) se evaluó la absorción de As en cultivos de habas y

lechugas creciendo en suelos con contenido de As y regados con aguas contaminadas con este elemento tóxico, en la localidad de Pastos Chicos, Jujuy (Argentina). La biomasa seca total (TDB) y el As total se determinaron en suelos, raíces, hojas, vainas y semillas y se encontró que las plantas de haba tuvieron la menor producción de biomasa cuando se expusieron al As en el agua de riego y el suelo. Las plantas de lechuga presentaron reducciones de TDB de 33,3 y 42,8% cuando se cultivaron en el suelo contaminado con As y en el suelo control bajo riego con agua contaminada, respectivamente.

Debido a su solubilidad en agua y tendencia a la bioacumulación en diferentes matrices del medio ambiente, algunos metales pesados son extremadamente tóxicos incluso a bajos niveles de exposición y pueden transportarse a la cadena alimentaria. Es por ello que El-Kady y Abdel-Wahhab (2018) hacen énfasis en que la exposición alimentaria es una ruta importante para los metales traza en los seres humanos y constituye aproximadamente el 90% de la exposición. La exposición prolongada a metales a través del consumo de alimentos, agua potable u otras fuentes ocupacionales conduce a problemas graves, por ejemplo, hepatotoxicidad, insuficiencia renal y

neurotoxicidad., Un aspecto que destacan estos autores es la insuficiencia de datos correspondientes a la carga corporal de los grupos potencialmente expuestos a altas concentraciones de metales y sus concentraciones en los alimentos.

En un estudio llevado a cabo por Lu et al. (2017) se evaluó el coeficiente de transferencia del Cd del suelo a los tejidos de la col china (*Brassica chinensis* L.) y los niveles máximos de Cd en suelos para su producción según la norma de seguridad alimentaria para Cd. Para ello, se recolectaron ocho suelos de diferentes regiones de China con propiedades contrastantes. A los suelos se les añadió Cd de forma exógena en dosis de 0-4 mg kg<sup>-1</sup> y se equilibró durante dos semanas antes de que la col china se cultivara en condiciones de invernadero. Los resultados mostraron que la concentración de Cd en la parte comestible de la col china aumentó linealmente con la concentración de Cd en el suelo en cinco de los ocho suelos, pero mostró un patrón curvilíneo con una meseta en la dosis más alta de Cd exógeno en los otros tres suelos. El coeficiente de transferencia de Cd del suelo a la planta varió significativamente entre los diferentes suelos y disminuyó al aumentar el pH del suelo de 4,7 a 7,5. Sin embargo, un mayor aumento en el pH del suelo a > 8,0 resultó

en una disminución significativa en el coeficiente de transferencia de Cd.

De acuerdo con el coeficiente de transferencia de Cd medido y con referencia a los Estándares Nacionales de Seguridad Alimentaria de China, se predijo que el umbral de seguridad de la concentración de Cd en el suelo estaría entre 0,12 y 1,7 mg kg<sup>-1</sup> para los suelos evaluados. Los valores umbral predichos fueron más altos que el estándar de calidad del suelo actual para Cd en cinco suelos, pero más bajos que el estándar en los otros tres suelos. A través de un análisis de regresión se demostró una relación positiva significativa entre el valor umbral de seguridad de Cd del suelo predicho y el pH del suelo en combinación con la materia orgánica del suelo o el contenido de arcilla.

Las diferentes especies vegetales pueden acumular cantidades distintas de metales pesados en sus tejidos. Esto fue comprobado por Zhou et al. (2016) en un estudio llevado a cabo en el área minera de Shizhuyuan en el distrito Suxian de la ciudad de Chenzhou, China. En este estudio se cultivaron seis tipos de vegetales en tierras de cultivo contaminadas con metales pesados (Pb, Cd, Cu, Zn y As). Adicionalmente se utilizó el método del cociente de riesgo máximo (THQ) para evaluar los riesgos para la salud humana

que plantean los metales pesados a través del consumo de vegetales. Se encontraron claras diferencias en las concentraciones de metales pesados en las partes comestibles de los diferentes vegetales. Las concentraciones de metales pesados disminuyeron en la secuencia como hortalizas de hoja > hortalizas de tallo/hortalizas de raíz/hortalizas solanáceas > hortalizas legumbres/hortalizas de melón. La capacidad de las hortalizas de hoja para absorber y acumular metales pesados fue la más alta, y la de los melones fue la más baja. Esto indicó que los acumuladores bajos (melón) eran aptos para ser plantados en suelo contaminado, mientras que los acumuladores altos (hortalizas de hoja) eran inadecuados. Por otro lado, los valores totales de THQ de adultos y niños a través del consumo de verduras fueron 4,12 y 5,41, respectivamente, lo que sugiere que los residentes pueden estar enfrentando riesgos para la salud debido al consumo de verduras y que los niños son vulnerables a los efectos adversos por ingestión de metales pesados en los alimentos.

La quema de combustibles fósiles, el riego con aguas residuales no tratadas debidamente y la eliminación de residuos sólidos son algunas de las fuentes de contaminación de suelos con metales pesados en diversas regiones de la India. Tasrina *et al.*, (2015) investigaron la fuente

y la magnitud de la contaminación por metales pesados en el suelo y varios tipos de vegetales, incluyendo papa, amaranto rojo, espinaca, amaranto, zanahoria, repollo, tomate y brinjal en Pakshi, Bangladesh, en áreas de cultivo de vegetales comerciales y residenciales. La concentración de As y Fe en todas las muestras de suelo analizadas fueron mayores que las de los límites permisibles según los estándares internacionales. La concentración de Co, Pb, Mn y Zn en los suelos también estuvieron por encima de los niveles estándar. De todos los elementos, el nivel de plomo en los vegetales en todas las áreas analizadas fue el más alto incluso por encima de los límites permitidos de diferentes normas internacionales. Esto permitió a los autores concluir que si tanto el suelo como las hortalizas están contaminados existe el riesgo de que ocurra una acumulación progresiva de estos metales en la cadena alimentaria, y además es posible que se produzcan profundas alteraciones del ecosistema con posibles efectos nocivos para la salud humana.

Se realizó un estudio de campo en las cercanías de una antigua planta de reciclaje de baterías, con contenido de metales pesados (Pb y Zn), el riesgo toxicológico del consumo de semillas de cultivos de soja [GlycineMax (L.) Merr.] cultivados en estos suelos y su relación con evaluación de la

calidad de la semilla. Se investigaron las concentraciones de Pb y Zn en soja (raíces, tallos, vainas y semillas) y en suelos superficiales y se estimó su riesgo potencial para la salud de los consumidores. Los resultados muestran que las concentraciones de Pb en la soja en todos los sitios (controles y cerca de la fundición) estuvieron por encima de los niveles máximos permitidos. La calidad de la semilla disminuyó a medida que aumentó la concentración de plomo en las semillas de sitios cercanos a la antigua planta de reciclaje de baterías. Teniendo en cuenta estos hallazgos, es necesario realizar estudios futuros para evaluar los parámetros que influyen en la movilidad y biodisponibilidad de los metales tóxicos en los suelos agrícolas, con el propósito no solo de evaluar el estado actual de los cultivos en términos de seguridad alimentaria sino también de evaluar posibles técnicas de remediación del suelo.

El establecimiento de cultivos agrícolas en lugares cercanos a centros industriales, actividad minera, centros poblados, etc.,

## CONCLUSIONES

---

Se encontró escasa literatura publicada a nivel nacional donde se evidencian la presencia de metales pesados o elementos traza en suelos cultivados con hortalizas lo

representa un riesgo de contaminación con metales pesados. En un estudio desarrollado por Rodríguez *et al.*, (2014) en las cercanías de una antigua planta de reciclaje de baterías, con contenido de metales pesados (Pb y Zn), se evaluó el riesgo toxicológico del consumo de semillas de cultivos de soja [*GlycineMax (L.) Merr.*] con Pb y Zn en soja (raíces, tallos, vainas y semillas) y en suelos superficiales. Se encontró que las concentraciones de Pb en la soja en todos los sitios (controles y cerca de la fundición) estuvieron por encima de los niveles máximos permitidos. La calidad de la semilla disminuyó a medida que aumentó la concentración de plomo en las semillas de sitios cercanos a la antigua planta de reciclaje de baterías. Además, la mayor acumulación de Zn en semillas se encontró en sitios con altas concentraciones de Pb en el suelo.

que evidencia la necesidad de desarrollar más estudios en esta área. De los estudios analizados, las principales fuentes de metales pesados en los suelos fueron

relacionada con el uso de aguas residuales inadecuadamente tratadas, suelos contaminados por actividad minera, cultivo de hortalizas en zonas adyacentes a

centros poblados y en menor proporción a un origen geogénico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrieta-Soto A., Chaparro-García, A., Montañez-Acevedo, G., Bustamante-Cano J. (2020). Residuos de metales tóxicos en suelos agrícolas de veredas cercanas a explotaciones petroleras en Tibú, Norte de Santander. *Respuestas*, 25(S1), 19-27.
- Briceño, J., Tonato, E., Silva, M., Paredes, M. y Armado, A. (2020). Evaluación del contenido de metales en suelos y tejidos comestibles de *Allium fistulosum* L. cultivado en zonas cercanas al volcán Tungurahua. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2):114-126.
- El-Kady, A.A. y Abdel-Wahhab, M.A. (2018). Occurrence of trace metals in foodstuffs and their health impact. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.001>
- FAO (2015) Alianza mundial sobre los suelos: Carta Mundial de los Suelos, Roma. <http://www.fao.org/3/a->
- Galán, H. E. y Romero, B. A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. , *Macla Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48-60. Depósito legal: M-38920-2004 • ISSN: 1885-7264. [http://www.ehu.eus/sem/macla\\_pdf/macla10/Macla10\\_48.pdf](http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf)
- Gruszecka-Kosowska, A. (2019). Potentially Harmful Element Concentrations in the Vegetables Cultivated on Arable Soils, with Human Health-Risk Implications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 4053; doi:10.3390/ijerph16204053.
- Harmanescu, M., Alda, L.M., Bordean, D.M., Gogoasa, L., Gergen, L. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area, a case study: Banat County, Romania. *Chem. Cent. J.* 2011, 5, 64–73.
- Herrera, R.C. y Lizarazo, M. M. (2018). Cuantificación de metales pesados en hortalizas producidas en la cuenca media del río Bogotá, Sibaté. Trabajo de investigación presentado como requisito

- parcial para optar al título de: Ingeniero Ambiental. Universidad del Bosque, Bogotá, Colombia.
- Hu, J., Wu, F., Wu, S., Cao, Z., Lin, X. y W, M. (2013). Bioaccessibility, dietary exposure and human risk assessment of heavy metals from market vegetables in Hong Kong revealed with an in vitro gastrointestinal model. *Quimiosfera*, 91 (4) 455-461. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.066>
- Igiri, B., Okoduwa, S., Idoko, G., Akabuogu, E., Adeyi, A. y Ejiogu I. (2018). Toxicity and bioremediation of heavy metals contaminated ecosystem from tannery wastewater: A Review. *Journal of Toxicology*, Volume 2018, Article ID 2568038, 16 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/2568038>
- Järup, L. (2003). Peligros de la contaminación por metales pesados, *British Medical Bulletin*, 68(1), 167–182, <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>
- Khan, S., Afzal, M., Iqbal, S. & Khan, Q.M. 2013. Plant–bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. *Chemosphere*, 90(4): 1317-1332.
- <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.045>
- Lu J. H., Yang X. P., Meng, X. C., Wang, G. Q., Lin, Y. S., Wang, Y. J. y Zhao, F. J. (2017). Predicting cadmium safety thresholds in soils based on cadmium uptake by Chinese cabbage. *Pedosphere*, 27(3), 475-481.
- Martínez, Z., y González, M. Paternina, J. y Cantero, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), 21-31. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.941>
- Mahecha-Pulido, J., Trujillo-Gonzalez, J. y Torres-Mora M. (2017). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *Revista Orinoquia* 21 (1) Doi: [10.22579/20112629.434](https://doi.org/10.22579/20112629.434)
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jérez, C., Fisher, G y Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelos y plantas en cuatro cultivos hortícolas regados con aguas del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2): 180-191.
- Norton, G. J., Deacon, C. M., Mestrot, A., Feldmann, J., Jenkins, P., Baskaran, C., & Meharg, A. A. (2015). Cadmium and

- lead in vegetable and fruit produce selected from specific regional areas of the UK. *The Science of the total environment*, 533, 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.130>
- Olivares, S., García, D., Lima, L., Saborit, I., Llizo, A., Pérez, P. (2013). Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de La Habana, Cuba. *Revista internacional de Contaminación Ambiental* 29(4): 285-294.
- Oves, M., Saghir, K., Huda, Q., Nadeen, M., y Almeelbi, T. (2016). Heavy Metals: Biological Importance and Detoxification Strategies. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 7 (2), 334. Doi: 10.4172/2155-6199.1000334
- Peris, M. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón (tesis doctoral). Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Rodríguez, J. H., Salazar, M. J., Steffan, L., Pignata, M. L., Franzaring, J., Klumpp, A. y Fangmeier, A. (2014). Assessment of Pb and Zn contents in agricultural soils and soybean crops near to a former battery recycling plant in Córdoba, Argentina. *Journal of Geochemical Exploration*, 145; 10-2014; 129-134. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.05.025>
- Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G., Simbaña-Farinango, K., Vélez-Terreno, P. y Navarrete, R. (2020). Determinación de cadmio y plomo en tomate (*Solanum lycopersicum*) y lechuga (*Lactuca sativa*) consumido en Quito, Ecuador. *Toxicology Reports*, (7), 893-899 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.07.008>
- Säumel, I., Kotsyuk, I., Hölscher, M., Lenkerei, C., Weber, F., Kowarik, I. (2012). How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Environmental Pollution* 165: 124-132.
- Tasrina, R.C., Rowshon, A., Mustafizur, A. M. R., Rafiqul, I., y Ali, M. P. (2015). Heavy Metals Contamination in vegetables and its growing soil. *J. Environ Anal Chem.*, 2: 142. doi:10.4172/jreac.1000142
- Vázquez, J., Sangurima, C., Álvarez-Vera, M. (2019). Concentraciones de plomo (Pb) en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en Azuay, Ecuador. *Scientia*

*Agropecuaria*, 10(3): 423-427. DOI:  
10.17268/sci.agropecu.2019.03.13

Vega, C. A. y Salamanca, R. A. (2016).  
Contenidos de plomo en acelga común  
*Beta vulgaris* L., producida en el contexto  
de la agricultura urbana (Bogotá,  
Colombia). *Revista Luna Azul*, 42: 44-53.  
DOI: 10.17151/luaz.2016.42.5

Vullo, D. (2003). Microorganismos y metales  
pesados: una interacción en beneficio del  
medio ambiente. *Química Viva*, 2 (3).  
<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.htm>

Wuana, R., y Okieimen, F. (2011). Heavy  
metals in contaminated soils: A review of  
sources, chemistry, risks and best  
available strategies for remediation.  
*International Scholarly Research Notices*,  
volume 2011 |Article ID 402647.  
<https://doi.org/10.5402/2011/402647>

Yañez, L. M., Alfaro, J. A., Ávila, N. M. E. y  
Bovi Mitre, G. (2019). Arsenic  
accumulation in lettuce (*Lactuca sativa*  
L.) and broad bean (*Vicia faba* L.) crops  
and its potential risk for human  
consumption. *Heliyon* 5 (2019) e01152.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01152>

Zhou, Y., Yang, W.T., Zhou, X., Liu, L., Gu,  
J-F., Wang, W.L., Zou, J-L., Tian, T.,

Peng, P-Q. y Liao, B.H. (2016).  
Accumulation of heavy metals in  
vegetable species Planted in  
contaminated soils and the health risk  
assessment. *International Journal of  
Environmental Research and Public  
Health*, 13, 289;  
doi:10.3390/ijerph13030289