

Metales pesados en aguas residuales: dinámica ambiental y riesgos para la salud y la agricultura

Heavy metals in wastewater: environmental dynamics and risks to health and agriculture

Raymunda Veronica Cruz Martinez ^a 
✉ rcruz@undc.edu.pe

Juan Leonardo Tejada Hinojoza ^b 

Luis Felipe Bendezú Diaz ^b 

Jorge Luis Magallanes Magallanes ^b 

Juan Saldívar Villarroel ^a 

^a Universidad Nacional de Cañete. San Vicente de Cañete, Perú

^b Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Ica, Perú

Resumen

Palabras clave: Metales pesados; Aguas residuales; Bioacumulación; Contaminación agrícola; Salud pública

Keywords: Heavy metals; Wastewater; Bioaccumulation; Agricultural pollution; Public health

Cómo citar: Cruz Martinez RV, Tejada Hinojoza JL, Bendezú Diaz LF, Magallanes Magallanes JL, Saldívar Villarroel J. Metales pesados en aguas residuales: dinámica ambiental y riesgos para la salud y la agricultura. ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):01-11
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.493>

Contexto: La contaminación por metales pesados en aguas residuales constituye una amenaza para los ecosistemas agrícolas y la salud pública debido a su persistencia, toxicidad y capacidad de bioacumulación. La reutilización de estas aguas para riego incrementa el riesgo de transferencia de contaminantes hacia el suelo, los cultivos y la cadena alimentaria. **Objetivo:** Analizar la evidencia científica reciente sobre las fuentes de contaminación por metales pesados en aguas residuales, su dinámica ambiental en el sistema suelo-planta y los riesgos para la agricultura y la salud humana. **Métodos:** Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica publicada entre 2020 y 2025. Se empleó un diseño de revisión sistemática siguiendo los lineamientos establecidos por la declaración PRISMA, garantizando la transparencia, reproducibilidad y rigor metodológico en la identificación, selección, evaluación y síntesis de los estudios incluidos. **Resultados:** La evidencia mostró que el cadmio, plomo y cromo son los metales predominantes en aguas residuales de origen industrial, urbano y agrícola, debido a su elevada persistencia y capacidad de bioacumulación. El pH, la textura y la materia orgánica del suelo influyen significativamente en su movilidad y biodisponibilidad. Asimismo, el maíz (*Zea mays* L.) presentó una acumulación diferencial, destacando el cadmio por su mayor translocación hacia los tejidos comestibles. La exposición crónica mediante la cadena alimentaria se asoció con efectos tóxicos renales, hepáticos, neurológicos y carcinogénicos. **Conclusiones:** La reutilización de aguas residuales sin tratamiento adecuado representa un importante riesgo ambiental y sanitario. Se recomienda fortalecer el monitoreo, el tratamiento de las aguas residuales y la implementación de estrategias sostenibles de remediación para proteger la seguridad alimentaria y los ecosistemas.

Abstract

Context: Heavy metal contamination in wastewater poses a threat to agricultural ecosystems and public health due to its persistence, toxicity, and bioaccumulation potential. The reuse of this water for irrigation increases the risk of contaminant transfer to soil, crops, and the food chain. **Objective:** To analyze recent scientific evidence on the sources of heavy metal contamination in wastewater, its environmental dynamics in the soil-plant system, and the risks to agriculture and human health. **Methods:** A systematic review of the scientific literature published between 2020 and 2025 was conducted. A systematic review design was employed following the guidelines established by the PRISMA statement, ensuring

transparency, reproducibility, and methodological rigor in the identification, selection, assessment, and synthesis of the included studies. **Results:** The evidence showed that cadmium, lead, and chromium are the predominant metals in wastewater from industrial, urban, and agricultural sources due to their high persistence and bioaccumulation potential. Soil pH, texture, and organic matter significantly influence their mobility and bioavailability. Likewise, maize (*Zea mays* L.) exhibited differential accumulation, with cadmium showing the greatest translocation to edible tissues. Chronic exposure through the food chain was associated with renal, hepatic, neurological, and carcinogenic toxic effects. **Conclusions:** The reuse of inadequately treated wastewater represents a significant environmental and public health risk. Strengthening wastewater monitoring and treatment, along with the implementation of sustainable remediation strategies, is recommended to protect food safety and ecosystems.

Introducción

La contaminación por metales pesados en aguas residuales constituye una problemática ambiental y sanitaria de creciente preocupación a nivel global, especialmente en regiones donde el uso de estas aguas para riego agrícola es una práctica extendida. Elementos como el cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) presentan alta persistencia, toxicidad y capacidad de bioacumulación en los sistemas biológicos, afectando tanto la productividad agrícola como la salud humana ⁽¹⁾. En países en desarrollo, el uso de aguas residuales sin tratamiento adecuado incrementa el riesgo de transferencia de estos metales hacia los cultivos alimentarios, como el maíz (*Zea mays* L.), un cultivo estratégico en la seguridad alimentaria ⁽²⁾.

Diversos estudios han documentado que los metales pesados presentes en aguas residuales provienen de fuentes industriales, domésticas y agrícolas, incluyendo descargas de minería, uso de fertilizantes y actividades urbanas ⁽³⁾. A lo largo de las últimas décadas, la investigación ha evidenciado la dinámica ambiental de estos contaminantes, destacando procesos como adsorción en el suelo, movilidad geoquímica y absorción radicular en plantas ⁽⁴⁾. Asimismo, se ha demostrado que el maíz presenta una capacidad variable de acumulación de metales en sus tejidos, dependiendo de factores como la concentración del contaminante, el pH del suelo y la disponibilidad iónica ⁽⁵⁾.

El uso de aguas residuales para riego agrícola representa una práctica común debido a la escasez hídrica. Sin embargo, la presencia de Cd, Pb y Cr en estas aguas plantea un riesgo significativo de bioacumulación en cultivos de consumo humano. A pesar de la relevancia del problema, existe limitada información sistematizada sobre la relación entre la concentración de estos metales en aguas residuales y su acumulación en el tejido vegetal del maíz amarillo duro.

El objetivo es analizar la evidencia científica disponible sobre la influencia de los metales pesados presentes en aguas residuales en la bioacumulación en cultivos de maíz, las principales fuentes de contaminación por metales pesados, su dinámica ambiental en sistemas suelo-planta y los riesgos asociados para la salud humana y la producción agrícola. Este análisis permitirá comprender los riesgos asociados a la contaminación agrícola y contribuirá al diseño de estrategias de manejo sostenible y protección de la salud pública ⁽⁶⁾.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, mediante una revisión sistemática de la literatura científica, orientada a analizar la contaminación por metales pesados en aguas residuales, su dinámica ambiental y los riesgos asociados a la salud humana y la agricultura.

Se empleó un diseño de revisión sistemática siguiendo los lineamientos establecidos por la declaración PRISMA, lo que permitió garantizar la transparencia, reproducibilidad y rigor metodológico en la selección y análisis de los estudios científicos.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La recopilación de información se realizó en bases de datos científicas indexadas de alto impacto, incluyendo Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Se utilizaron combinaciones de palabras clave en inglés y español mediante operadores booleanos: “heavy metals” AND “wastewater” AND “bioaccumulation”, “metales pesados” AND “aguas residuales” AND “agricultura”, “cadmium” OR “lead” OR “chromium” AND “maize”. La búsqueda se restringió a artículos publicados entre 2020 y 2025, con el fin de asegurar actualidad científica.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos científicos originales y de revisión publicados en revistas indexadas, escritos en inglés o español, que abordaran la presencia de metales pesados en aguas residuales, su comportamiento ambiental, bioacumulación en cultivos (especialmente en *Zea mays L.*) y riesgos para la salud. Se excluyeron documentos duplicados, tesis no publicadas, artículos sin revisión por pares y estudios con información incompleta o sin rigor metodológico.

Proceso de selección de estudios

El proceso de selección de estudios se realizó mediante el protocolo PRISMA 2020, como se muestra en la Figura 1. Inicialmente se identificaron 200 registros en las bases de datos consultadas, de los cuales se eliminaron 55 duplicados. Posteriormente, 145 registros fueron sometidos a cribado por título y resumen, excluyéndose 98. De los 47 informes buscados para recuperación, 5 no fueron recuperados y 42 fueron evaluados a texto completo. Tras aplicar los criterios de elegibilidad, se excluyeron 25 informes, resultando finalmente en 17 estudios incluidos en la revisión sistemática y en la tabla de sistematización.

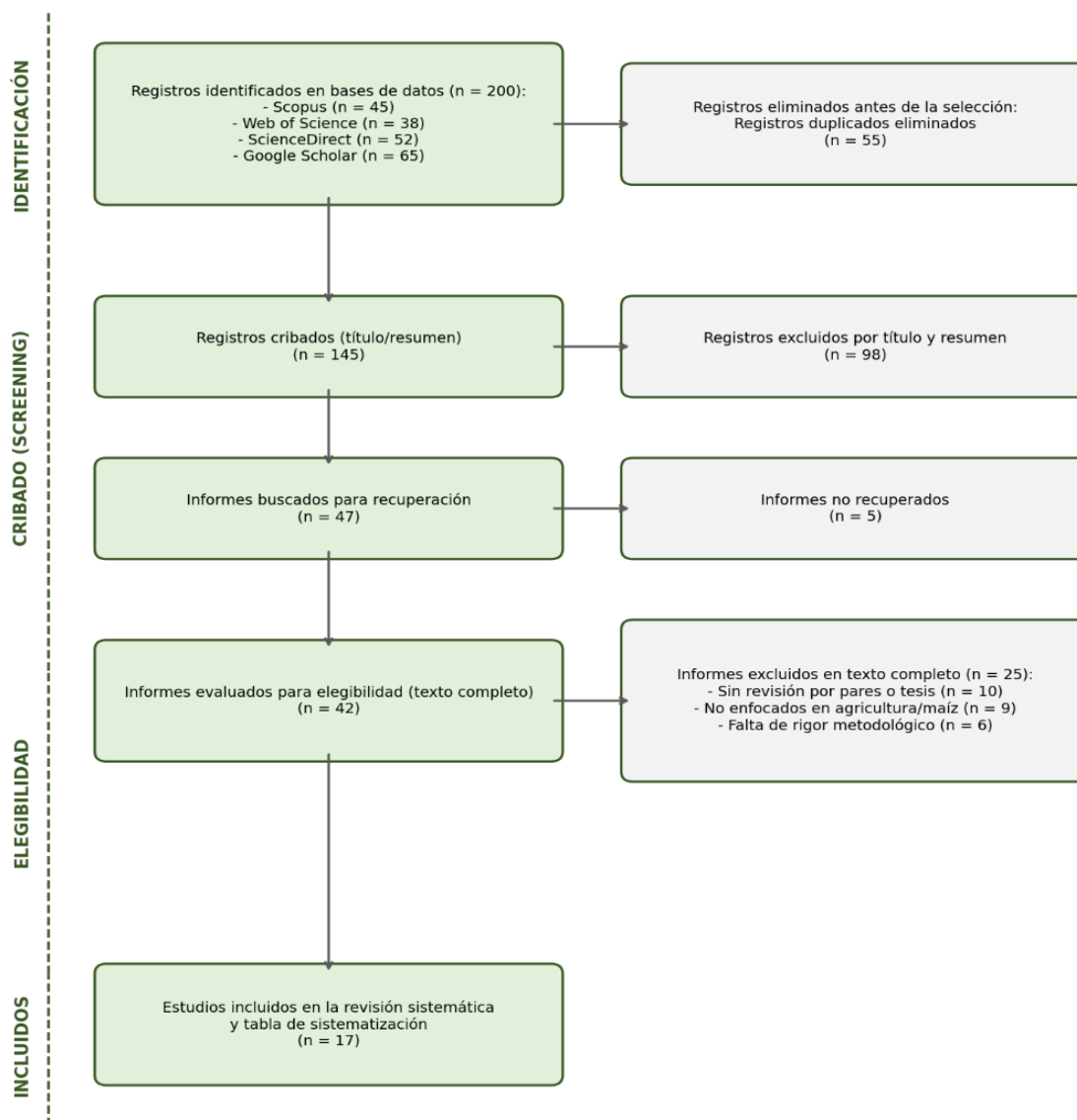


Figura 1. Diagrama de flujo de la revisión sistemática de literatura (PRISMA 2020).

Extracción y análisis de datos

De cada estudio seleccionado se extrajeron variables clave como: tipo de metal pesado (Cd, Pb, Cr), concentración en aguas residuales, características del suelo, tipo de cultivo, niveles de bioacumulación en tejidos vegetales, factores de transferencia y efectos toxicológicos. La información fue organizada en matrices de análisis comparativo, lo que permitió identificar patrones, tendencias y vacíos de conocimiento.

Síntesis de la información

Se realizó una síntesis cualitativa y analítica de los resultados, integrando la evidencia científica sobre las fuentes de contaminación, la dinámica ambiental de los metales pesados y su impacto en sistemas agrícolas. Asimismo, se discutieron los mecanismos de absorción y acumulación en el cultivo de maíz, en concordancia con la pregunta de investigación planteada.

Resultados

La Tabla 1 presenta la sistematización de los estudios seleccionados, organizados según autor y año, metales analizados, matriz o cultivo evaluado, principales hallazgos y relación con las secciones del artículo. Esta clasificación permite visualizar los principales enfoques abordados en la literatura revisada y facilita la integración de los hallazgos sobre la dinámica de los metales pesados en aguas residuales, suelos y sistemas agrícolas.

Tabla 1. Sistematización de los estudios incluidos en la revisión sobre metales pesados en aguas residuales y sus implicaciones agrícolas y ambientales.

ID	Referencia (Autor, Año)	Metales	Matriz / Cultivo	Hallazgos Principales
1	Tafur & Lapa ⁽¹⁾	Cd, Pb	Producción lechera y ganado	Evalúa riesgos de bioacumulación de metales pesados en la cadena alimentaria (producción de leche) por contaminación ambiental de pasturas.
2	García Juárez et al. ⁽²⁾	Cr, Pb	Aguas industriales (curtiembres)	Analiza métodos de tratamiento para efluentes de curtido de pieles con alta carga de metales pesados como el cromo.
3	Torres-Rosique et al. ⁽³⁾	Cd, Pb, Cr	Suelo y agua (Subcuenca Balsas)	Determina la distribución espacial de metales pesados provenientes de fuentes industriales, domésticas y agrícolas.
4	Moreno-Barragán et al. ⁽⁴⁾	No aplica	Contaminantes emergentes	Aborda el impacto en salud humana de los efluentes domésticos y dinámicas de dispersión ambiental de contaminantes de consumo urbano.
5	Ojeda ⁽⁵⁾	Cd, Pb	Suelo y pastos de irrigación (Puno)	Evidencia bioacumulación en pastos irrigados con aguas contaminadas por minería, variando según el pH y disponibilidad iónica del suelo.
6	Rodríguez Masabanda ⁽⁶⁾	Varios	Políticas de salud pública	Enfatiza la necesidad de políticas nacionales robustas y gestión integral de contaminantes para proteger la salud de la población.
7	Buelvas-Soto et al. ⁽⁷⁾	Hg, Pb	Pato silvestre (Dendrocygna)	Demuestra bioacumulación de metales en tejidos de organismos vivos de ecosistemas húmedos agrícolas, sugiriendo transferencia trófica severa.
8	Velázquez-Chávez et al. ⁽⁸⁾	Cd, Pb, Cr	Agua de riego y suelo	Revisa el impacto integral de la contaminación de recursos hídricos y suelos en el desarrollo agrícola nacional e internacional.
9	Castillo et al. ⁽⁹⁾	Cd, Pb	Aguas residuales (Río Pisco)	Mide el nivel de contaminación por vertimiento de aguas residuales domiciliarias urbanas directas a fuentes fluviales de riego.
10	Moyano Salcedo et al. ⁽¹⁰⁾	Cd, Pb, Cr	Aguas servidas domésticas	Evalúa el impacto ambiental del vertimiento de aguas negras sin tratamiento adecuado por expansión urbana informal, aumentando la carga de metales.
11	Ochoa et al. ⁽¹¹⁾	As, Pb, Cd	Suelos altoandinos (Tiquillaca)	Analiza la solubilidad, especiación química (como Cr ³⁺ vs Cr ⁶⁺) y la influencia fisicoquímica en la contaminación del suelo agrícola.

ID	Referencia (Autor, Año)	Metales	Matriz / Cultivo	Hallazgos Principales
12	Yanqui et al. ⁽¹²⁾	Cd, Pb, Cr	Suelos agrícolas	Sintetiza la dinámica de absorción de metales en suelos agrícolas, destacando que el pH ácido favorece la solubilización y asimilación radicular.
13	Cabrera Vígil et al. ⁽¹³⁾	Cd, Pb, Cr	Maíz amiláceo (Zea mays)	Estudio directo en maíz irrigado con aguas residuales; evidencia translocación de Cd a granos, retención de Pb en raíz y Cr de forma intermedia.
14	Goykovic-Cortés et al. ⁽¹⁴⁾	As, Pb	Vetiver (C. zizanioides) y agua	Demuestra el potencial de fitorremediación de la especie vetiver para captar metales pesados y depurar recursos hídricos agrícolas.
15	Avalos-Ramírez ⁽¹⁵⁾	Pb	Suelo, agua, alimentos	Revisa la toxicidad humana del plomo, vinculando la exposición prolongada con neurotoxicidad y fallas metabólicas/renales severas.
16	Loredo-Tovías et al. ⁽¹⁶⁾	Cd, Pb, Cu	Lechuga (Lactuca sativa)	Determina que la irrigación con agua contaminada provoca reducción de tasas de fotosíntesis, inhibición de absorción de nutrientes y bajo rendimiento agrícola.
17	Rodríguez-Gonzales et al. ⁽¹⁷⁾	Varios	Bacterias de suelo (remediación)	Explora el uso de microorganismos benéficos del suelo y biosorción como herramientas de remediación sostenible para disminuir la disponibilidad metálica.

La revisión evidenció patrones recurrentes relacionados con la presencia de metales pesados en aguas residuales, su comportamiento en el sistema suelo-planta y los riesgos asociados para la salud humana y la producción agrícola. Entre los elementos más reportados destacaron el cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr), debido a su elevada toxicidad, persistencia ambiental y capacidad de bioacumulación en organismos vivos ⁽⁷⁾.

Fuentes y niveles de contaminación en aguas residuales

En la Tabla 2, se destacan los estudios analizados donde se establece que las principales fuentes de contaminación corresponden a descargas industriales, efluentes domésticos y escorrentía agrícola. Las concentraciones registradas de Cd, Pb y Cr superaron frecuentemente los límites máximos permisibles establecidos por organismos internacionales, evidenciando un incremento progresivo de la carga contaminante asociado al crecimiento industrial y urbano sin tratamiento adecuado ⁽⁹⁾.

Tabla 2. Rangos de concentración de metales pesados en aguas residuales (2020–2025).

Fuente	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	Cr (mg/L)	Referencias
Industrial	0.05–3.2	0.2–6.5	0.5–12.0	Ullah et al., ⁽¹⁸⁾
Doméstica	0.01–0.6	0.05–1.2	0.1–2.5	Koul et al., ⁽¹⁹⁾
Agrícola	0.02–1.0	0.03–2.0	0.2–4.0	Kinuthia et al., ⁽²⁰⁾

Estos resultados evidencian una tendencia creciente en la carga contaminante, asociada al aumento de actividades industriales y urbanas sin tratamiento ⁽¹⁰⁾.

Dinámica ambiental en sistemas suelo-planta

En la figura 2 se evidencia la relación con la dinámica ambiental, se observó que la movilidad y disponibilidad de los metales pesados en el suelo dependen de propiedades fisicoquímicas como el pH, la textura y el contenido de materia orgánica. El Cd presentó mayor movilidad y biodisponibilidad, mientras que el Pb mostró fuerte adsorción a las partículas del suelo. En el caso del Cr, su comportamiento estuvo condicionado por su estado de oxidación, diferenciándose entre Cr^{3+} y Cr^{6+} (11). Asimismo, los estudios reportaron que condiciones de pH ácido favorecen la solubilización y absorción de estos elementos por las plantas (12).

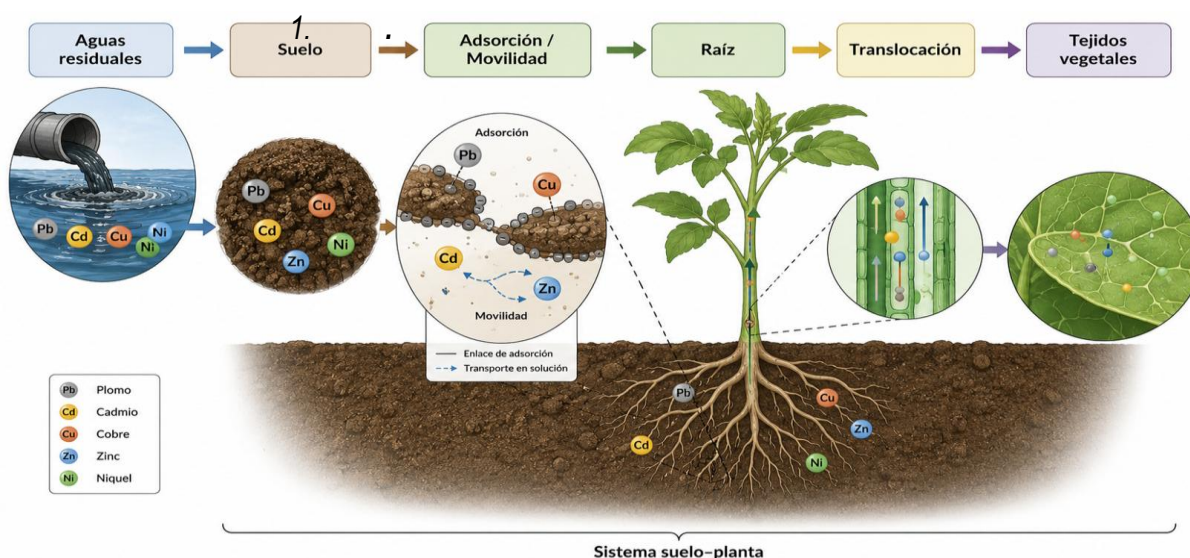


Figura 2. Dinámica de metales pesados en el sistema suelo-planta.

Bioacumulación en maíz (*Zea mays* L.).

En la Tabla 3, con respecto a la bioacumulación en maíz (*Zea mays* L.), los resultados indicaron una respuesta diferencial según el tipo de metal pesado. El Cd mostró alta translocación hacia hojas y granos, el Pb se acumuló principalmente en las raíces, mientras que el Cr presentó acumulación intermedia dependiente de su forma química y disponibilidad en el suelo (13).

Tabla 3. Bioacumulación de metales pesados en tejidos de maíz.

Metal	Raíz	Hoja	Grano	Factor de riesgo
Cd	Alto	Alto	Moderado	Alto
Pb	Muy alto	Bajo	Muy bajo	Moderado
Cr	Moderado	Moderado	Bajo	Variable

Estos hallazgos evidenciaron que el uso de aguas residuales contaminadas influye significativamente en la acumulación de metales en tejidos vegetales (14).

Riesgos para la salud humana y agricultura

En la Figura 3, al respecto con a los efectos sobre la salud humana y la agricultura, la literatura revisada identificó que el consumo de cultivos contaminados constituye una de las principales vías de exposición. El Cd se asoció con daño renal y alteraciones metabólicas, el Pb con neurotoxicidad y trastornos del desarrollo, y el Cr con potenciales efectos carcinogénicos (15).



Figura 3. Ruta de transferencia de metales pesados.

A nivel agronómico, la presencia de estos contaminantes provocó reducción de la fotosíntesis, alteraciones en la absorción de nutrientes y disminución del rendimiento productivo de los cultivos ⁽¹⁶⁾.

Discusión

Los resultados obtenidos confirman la existencia de una relación directa entre las concentraciones de Cd, Pb y Cr presentes en aguas residuales y su posterior acumulación en sistemas agrícolas, especialmente en el cultivo de maíz. Este comportamiento refleja la elevada capacidad de transferencia de los metales pesados desde el agua hacia el suelo y posteriormente a los tejidos vegetales, generando riesgos ambientales y alimentarios de importancia creciente en zonas agrícolas donde se emplean aguas residuales para riego.

La mayor movilidad observada para el Cd coincide con investigaciones recientes que señalan su alta biodisponibilidad en suelos con pH ácido y bajo contenido de materia orgánica, facilitando su absorción y translocación hacia órganos comestibles de la planta ^(12, 13). Por el contrario, el Pb mostró menor movilidad debido a su fuerte adsorción en las fracciones coloidales del suelo, aunque su acumulación prolongada representa un riesgo persistente para la calidad del suelo agrícola ^(8, 11). En el caso del Cr, su toxicidad dependió de la forma química predominante, siendo el Cr^{6+} considerablemente más móvil y tóxico que el Cr^{3+} ^(11, 12).

La evidencia analizada también demuestra que la contaminación por metales pesados afecta simultáneamente la productividad agrícola y la inocuidad alimentaria. La alteración de procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y el crecimiento radicular repercute negativamente en el rendimiento de los cultivos, mientras que la acumulación en granos y tejidos vegetales incrementa el riesgo de exposición humana a través de la cadena alimentaria.

Desde una perspectiva aplicada, los hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer estrategias de manejo y remediación ambiental orientadas a reducir la contaminación en sistemas agrícolas. Entre las tecnologías más reportadas destacan la fitorremediación, biosorción y los tratamientos físico-químicos, las cuales presentan potencial para disminuir la disponibilidad de metales pesados en aguas y suelos contaminados ⁽¹⁷⁾.

Asimismo, los resultados proporcionan evidencia científica relevante para el diseño de políticas públicas enfocadas en la gestión sostenible del agua, la seguridad alimentaria y la protección de la salud pública en regiones agrícolas con uso intensivo de aguas residuales, como Imperial-Cañete.

Conclusiones

Este estudio permitió confirmar que la contaminación por metales pesados en aguas residuales representa una problemática ambiental de elevada complejidad y persistencia, con implicancias directas sobre la sostenibilidad agrícola y la salud pública. Entre los contaminantes más relevantes destacan el cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr), debido a su alta toxicidad, estabilidad química y capacidad de bioacumulación en los ecosistemas agrícolas y en la cadena alimentaria.

Los hallazgos evidenciaron que las principales fuentes de incorporación de estos metales al ambiente son de origen antropogénico, principalmente asociadas a actividades industriales, descargas urbanas y prácticas agrícolas intensivas. Para el tratamiento adecuado de aguas residuales en diversas regiones favorece la dispersión continua de contaminantes hacia los suelos agrícolas, promoviendo procesos de acumulación progresiva y deterioro ambiental.

El comportamiento de los metales pesados en el sistema suelo-planta depende significativamente de las propiedades fisicoquímicas del suelo, especialmente del pH, contenido de materia orgánica, textura y condiciones redox. Estos factores regulan la movilidad y biodisponibilidad de los elementos tóxicos, determinando su absorción por las plantas. En este contexto, el Cd mostró mayor movilidad y capacidad de translocación hacia órganos comestibles, mientras que el Pb presentó una tendencia predominante a acumularse en las raíces. Por su parte, el Cr manifestó un comportamiento variable condicionado por su estado de oxidación y disponibilidad ambiental.

De igual manera, la evidencia científica revisada demuestra que el uso de aguas residuales para riego influye directamente en la bioacumulación de metales pesados en cultivos agrícolas, particularmente en maíz (*Zea mays* L.), especie de alta importancia alimentaria y económica. La concentración de Cd, Pb y Cr presente en las aguas de riego se relacionó con su acumulación en tejidos vegetales, incrementando el riesgo potencial para la inocuidad alimentaria y la exposición humana a contaminantes tóxicos.

Desde la perspectiva sanitaria, la exposición prolongada a estos metales mediante el consumo de alimentos contaminados puede ocasionar efectos adversos severos, incluyendo alteraciones renales, daños neurológicos y procesos carcinogénicos. En consecuencia, resulta prioritario fortalecer los sistemas de control y regulación relacionados con el uso agrícola de aguas residuales, con la finalidad de reducir los riesgos para la salud humana y garantizar la calidad de los productos agrícolas.

La mitigación de esta problemática requiere la implementación de estrategias integrales de gestión ambiental, orientadas al tratamiento eficiente de aguas residuales, monitoreo permanente de suelos y cultivos, y aplicación de tecnologías sostenibles como la fitorremediación y biosorción. La integración de estas medidas contribuirá al desarrollo de una agricultura más segura y sostenible, compatible con la conservación ambiental, la seguridad alimentaria y la protección de la salud pública.

Acerca de

Financiamiento: Los autores declaran que la investigación no recibió financiamiento externo de ninguna entidad pública o privada.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

Certificación ética: Al tratarse de una revisión sistemática basada en literatura científica publicada entre 2020 y 2025, sin participación directa de seres humanos, animales ni uso de datos personales identificables, no fue necesaria la aprobación de un comité de ética ni el consentimiento informado.

Historia del artículo: Artículo recibido 14 de junio 2026 | Aceptado 15 de julio 2026 | Publicado 24 de agosto 2026.

Referencias

1. Tafur DL, Lapa RML. Metales pesados en la producción ganadera lechera y riesgos a la salud humana. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscip.* 2022;6(1):3629-45. https://orcid.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1758
2. García Juárez HD, Mendoza Zuta JC, Armas Juárez RA, Cruz Salinas LE, García Juárez HD, Mendoza Zuta JC, et al. Tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de curtido de pieles. *Alfa Rev Investig En Cienc Agronómicas Vet.* 2022;6(18):423-35. <https://orcid.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.179>
3. Torres-Rosique J, Tamariz-Flores JV, Castro-González NP, Castelán-Vega R, Pérez-Osorio G, Torres-Rosique J, et al. Distribución Espacial de Metales Pesados de Origen Antropogénico en la Subcuenca del Alto Balsas, Puebla y Tlaxcala. *Terra Latinoam.* 2025;43. <https://orcid.org/10.28940/terra.v43i.2153>
4. Moreno-Barragán AS, Benalcázar-Pozo CA, Bermúdez-del Sol A, Moreno-Barragán AS, Benalcázar-Pozo CA, Bermúdez-del Sol A. Contaminación ambiental por productos farmacéuticos y su impacto en la salud humana. *Rev Cienc Médicas Pinar Río.* 2023 ;27. https://www.researchgate.net/publication/379606569_Contaminacion_ambiental_por_productos_farmaceuticos_y_su_impacto_en_la_salud_humana
5. Ojeda JWC. Metales pesados en suelos y su bioacumulación en pastos irrigados con aguas contaminadas por minería en la irrigación Canal N Puno. *Biotechnol En El Sect Agropecu Agroindustrial.* 2025;23(2):30-42. <https://orcid.org/10.18684/rbsaa.v23.n2.2025.2403>
6. Rodríguez Masabanda VH. Impacto de las políticas de gestión de residuos sólidos en la salud pública en Ecuador. *E-Rev Multidiscip Saber.* 2025;3. <https://orcid.org/10.61286/e-rms.v3i.165>
7. Buelvas-Soto J, Marrugo-Madrid S, Marrugo-Negrete J. Bioacumulación de mercurio y plomo en el pato *Dendrocygna autumnalis* en la subregión de la Mojana, Colombia. *Rev MVZ Córdoba.* 2022;27(1):e2337-e2337. <https://orcid.org/10.21897/rmvz.2337>
8. Velázquez-Chávez L de J, Ortiz-Sánchez IA, Chávez-Simental JA, Pámanes-Carrasco GA, Carrillo-Parra A, Pereda-Solís ME, et al. Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP Rev Espec En Cienc Quím-Biológicas.* 2022;25. <https://orcid.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>
9. Castillo VVB, Mendoza TOB, Mendoza PC, Barrios ICC, Hernández JAM, Palomino VAC. Vertimiento de aguas residuales domiciliarias y el grado de contaminación del río Pisco, Ica. *Rev Alfa.* 2024;8(24):916-29. <https://orcid.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.313>
10. Moyano Salcedo ÁJ, Cuadros Segura FD, Pabón Laverde AM, Trujillo Arias JV, Moyano Salcedo ÁJ, Cuadros Segura FD, et al. Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia. *Tecnura.* 2021;25(68):43-62. <https://orcid.org/10.14483/22487638.16273>
11. Ochoa BHF, Contreras EM, Mamani LEH. Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Rev Investig Altoandinas - J High Andean Res.* 2022;24(2):131-8. <https://orcid.org/10.18271/ria.2022.416>

12. Yanqui JFO, Lema HM, Carrión RFC. Distribución y bioacumulación de metales pesados en suelos agrícolas: una revisión breve. *Rev PRISMA Amaz.* 2025;2(2):17-27. <https://orcid.org/10.66586/frem1z90>
13. Cabrera Vigil CE, Cotrina Cabello GG, Magallanes Magallanes JL, Aliaga Barrera IN, Bendeزú Diaz LF, Cabrera Vigil CE, et al. Estudio de contaminación por metales pesados en cultivo de maíz amiláceo (*zea mays* L.) Irrigado con aguas residuales. *Alfa Rev Investig En Cienc Agronómicas Vet.* 2025;9(26):743-51. <https://orcid.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.378>
14. Goykovic-Cortés V, Ugalde-Smolcz S, Pacheco-Cartagena P, Goykovic-Cortés V, Ugalde-Smolcz S, Pacheco-Cartagena P. Eficiencia fitorremediadora de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) en agua contaminada con arsénico y plomo. *Idesia Arica.* 2021;39(4):139-45. <https://orcid.org/10.4067/S0718-34292021000400139>
15. Avalos-Ramírez YJ. Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. *Rev Investig Univ Cordon Bleu.* 2023;10(2):59-68. <https://orcid.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.006>
16. Loredó-Tovías M, Alcalá-Jáuregui JA, García-Arreola ME, Carballo-Méndez F de J, Rodríguez-Fuentes H, Buendía-García A, et al. Concentración y transferencia de metales pesados en lechuga (*Lactuca sativa* L.) irrigadas con aguas tratadas. *Terra Latinoam.* 2022;40. <https://orcid.org/10.28940/terra.v40i0.1045>
17. Rodríguez-Gonzales A, Zárate-Villarroe SG, Bastida-Codina A, Rodríguez-Gonzales A, Zárate-Villarroe SG, Bastida-Codina A. Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Rev Cienc Ambient.* 2022;56(1):178-208. <https://orcid.org/10.15359/rca.56/1.9>
18. Ullah R, Malik RN, Qadir A, et al. Assessment of heavy metals accumulation in agricultural soil, vegetables and associated health risks. *PLoS One.* 2022;17(5):e0267719. <https://orcid.org/10.1371/journal.pone.0267719>
19. Koul B, Yadav D, Singh S, Kumar M, Song M. Insights into the domestic wastewater treatment regimes: A review. *Water.* 2022;14(21):3542. <https://orcid.org/10.3390/w14213542>
20. Kinuthia GK, Ngure V, Beti D, Lugalia R, Wangila A, Kamau L. Levels of heavy metals in wastewater and soil samples from open drainage channels in Nairobi, Kenya: Community health implication. *Sci Rep.* 2020;10:8434. <https://orcid.org/10.1038/s41598-020-65359-5>