



Metales pesados en cultivos agrícolas del Perú: Una revisión sistemática y análisis bibliométrico

Heavy metals in agricultural crops of Peru: A Systematic review and bibliometric analysis

Archi Alejandro Ruiz-Polo^{1,2}; Jose Stalyn Cordova-Campos²; César Augusto Mogollón-Farías²; Segundo Melecio Garcia-Garcia²; Ana Marlene Guerrero-Padilla¹

1 Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

2 Estación Experimental Agraria Los Cedros. Subdirección de Recursos Genéticos de la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Tumbes. Perú.

* Autor correspondiente: archi.ruiz.polo.mail.work@gmail.com (A. A. Ruiz-Polo).

ORCID de los autores:

A. A. Ruiz-Polo: <https://orcid.org/0009-0005-1273-2625>

J. S. Cordova-Campos: <https://orcid.org/0000-0002-5891-4679>

C. A. Mogollón-Farías: <https://orcid.org/0009-0000-5390-9208>

S. M. Garcia-Garcia: <https://orcid.org/0009-0003-6300-9221>

A. M. Guerrero-Padilla: <https://orcid.org/0000-0003-0008-3785>

RESUMEN

El presente trabajo corresponde a una revisión sistemática y análisis bibliométrico sobre la presencia de metales pesados en cultivos agrícolas en el Perú durante el periodo 2015-2025. Se realizó la búsqueda de información en las bases Scopus y ScienceDirect aplicando el protocolo PRISMA. El procesamiento y análisis de los datos se efectuó utilizando los programas R Studio (v.4.5), QGIS (v.3.36.1), Microsoft Excel (v.16) y el modelo de lenguaje de inteligencia artificial ChatGPT (v.GPT-5, OpenAI). Como resultado, solo 19 artículos cumplieron los criterios de inclusión establecidos. Los cultivos identificados con presencia de metales pesados abarcan grupos como cereales, leguminosas, hortalizas, raíces, tubérculos, plantas aromáticas, medicinales y frutales. Entre los metales evaluados, el cadmio (Cd) estuvo presente en todos los grupos, mientras que el arsénico (As) en parte de los cultivos evaluados. Del análisis temporal realizado no se registraron investigaciones durante los años 2015 y 2016; sin embargo, a partir de 2017 se observó un incremento progresivo en el número de publicaciones, alcanzando un alto nivel en 2023 con el 31,6% de los estudios, seguido de fluctuaciones posteriores hasta el año 2025. Geográficamente, se encontró que los estudios se han realizado en 12 regiones, correspondientes al 48 % del total de gobiernos regionales del Perú, concentrándose principalmente en la Sierra (zona altoandina) y de manera limitada en la Costa y la Selva (Amazonía). Estos hallazgos evidencian la existencia de contaminación y procesos de bioacumulación de metales pesados en cultivos agrícolas, lo que constituye un problema relevante para la salud pública y la seguridad alimentaria. No obstante, se identifica como principal vacío científico la limitada cobertura geográfica y la escasez de estudios en zonas de Costa y Selva, así como la falta de investigaciones longitudinales y estandarizadas que evalúen la dinámica de bioacumulación y sus riesgos para la salud humana, lo que resalta la necesidad de desarrollar estudios integrales y sostenidos en estas regiones.

Palabras clave: Agricultura; contaminación; cultivos agrícolas; metales pesados; Perú.

ABSTRACT

This study corresponds to a systematic review and bibliometric analysis of the presence of heavy metals in agricultural crops in Peru during the period 2015–2025. The literature search was conducted using the Scopus and ScienceDirect databases, applying the PRISMA protocol. Data processing and analysis were performed using R Studio (v.4.5), QGIS (v.3.36.1), Microsoft Excel (v.16), and the artificial intelligence language model ChatGPT (v.GPT-5, OpenAI). As a result, only 19 articles met the established inclusion criteria. The crops identified with the presence of heavy metals include groups such as cereals, legumes, vegetables, roots, tubers, aromatic plants, medicinal plants, and fruits. Among the evaluated metals, cadmium (Cd) was present in all groups, while arsenic (As) was detected in some of the evaluated crops. The temporal analysis revealed no studies conducted in 2015 and 2016; however, from 2017 onward, a progressive increase in the number of publications was observed, reaching a peak in 2023 with 31.6% of the studies, followed by subsequent fluctuations until 2025. Geographically, the studies were carried out in 12 regions, representing 48% of the total regional governments of Peru, with a higher concentration in the Andean highlands (Sierra) and limited presence in the Coastal and Amazon (Selva) regions. These findings demonstrate the existence of contamination and bioaccumulation processes of heavy metals in agricultural crops, constituting a relevant issue for public health and food security. However, the main scientific gap identified is the limited geographical coverage and the scarcity of studies in Coastal and Amazon regions, as well as the lack of longitudinal and standardized research assessing the dynamics of bioaccumulation and its risks to human health. This highlights the need for comprehensive and sustained studies in these regions.

Palabras clave: Agriculture; agricultural crops; heavy metals; pollution; Peru.

Recibido: 28-09-2025.

Aceptado: 17-05-2026



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La presencia de metales pesados en cultivos agrícolas constituye un riesgo directo para la seguridad alimentaria, dado que los alimentos destinados al consumo humano pueden servir como vías de exposición hacia la población (Angon et al., 2024; Munir et al., 2021; Scutarasu & Trincă, 2023).

Esta problemática representa un desafío ambiental y de salud pública de creciente relevancia a nivel mundial, principalmente debido a la capacidad de elementos como cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg), arsénico (As) y cromo (Cr) de bioacumularse en suelos, aguas y organismos vivos, generando efectos tóxicos incluso a bajas concentraciones (Adnan et al., 2024; Briffa et al., 2020; Laoye et al., 2025).

En América Latina, y en particular en el Perú, la contaminación por metales pesados adquiere especial importancia debido a la intensa actividad minera, el uso de fertilizantes y pesticidas de origen inorgánico, así como la disposición inadecuada de residuos industriales y urbanos (Piñero et al., 2021; Román-Ochoa et al., 2021).

Diversos estudios han evaluado la presencia de metales pesados en hortalizas, frutas y otros cultivos de relevancia económica y alimentaria; sin embargo, la información disponible se encuentra dispersa y, en muchos casos, limitada a contextos específicos (Pagen & Feller, 2015; Rai et al., 2019; Xiang et al., 2021; Rashid et al., 2023).

Investigaciones recientes han evidenciado el impacto de prácticas agrícolas en la acumulación de metales pesados. Por ejemplo, un estudio sobre papas nativas andinas de la sierra peruana demostró que la aplicación de fertilizantes inorgánicos incrementa las concentraciones de

cobre (Cu) y zinc (Zn) en el suelo, superando los estándares de referencia; mientras que en los tubérculos, aunque se detectó acumulación de Cu y Zn, los niveles se mantuvieron dentro de los límites permisibles, con excepción del plomo (Pb), que superó los límites establecidos por la FAO/OMS ($0,1 \text{ mg kg}^{-1}$) (Orellana-Mendoza et al., 2024). Asimismo, investigaciones en agroecosistemas hortícolas de un valle interandino peruano han demostrado que tanto el suelo como las plantas cultivadas presentan niveles de contaminación por metales pesados, los cuales se intensifican mediante la movilización a través del agua de riego, promoviendo la acumulación progresiva de metales en el sistema productivo y constituyendo un riesgo potencial para el ambiente y la salud pública (Alejos et al., 2026).

En este contexto, resulta necesario integrar y analizar de manera sistemática la evidencia científica existente, con el fin de identificar patrones, vacíos de conocimiento y posibles riesgos asociados. Esto permite orientar futuras investigaciones y estrategias de gestión ambiental, además de ofrecer una visión integral sobre el estado de la contaminación por metales pesados en productos agrícolas peruanos durante la última década, repercutiendo en la seguridad alimentaria y en la exportación de los mismos.

Por tanto, el presente estudio tuvo como objetivo realizar una revisión sistemática y análisis bibliométrico de la presencia de metales pesados en cultivos agrícolas del Perú, siguiendo la metodología PRISMA, con el fin de sintetizar la evidencia científica y detectar vacíos que orienten investigaciones futuras.

METODOLOGÍA

Colección de datos

En la presente revisión sistemática se empleó el método PRISMA (Apéndice A1 y A2), en cuatro etapas: identificación, selección, elegibilidad e inclusión (Figura 1). La fase de identificación se

efectuó en las bases de datos Scopus y Sciencedirect debido a que poseen una cobertura amplia de investigaciones, calidad en los contenidos de sus artículos y parámetros de precisión en la búsqueda de artículos.

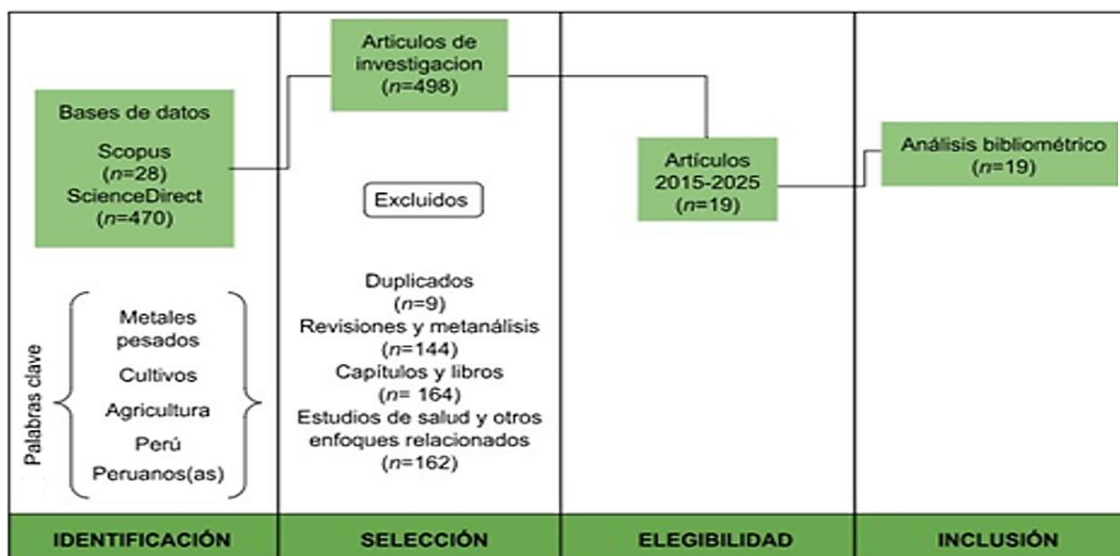


Figura 1. Esquemática de la búsqueda bibliográfica empleando el método PRISMA.

Como parámetros de búsqueda, se consideraron palabras clave vinculadas a los términos: metales pesados, cultivos, agricultura, Perú y peruanos (as), lo que permitió recuperar un total de 498 documentos.

Asimismo, en cada base de datos se estableció el rango temporal (enero 2015 - septiembre 2025), el tipo de documento (artículos científicos) y la limitación geográfica (Perú) con lo que se minimizó el sesgo en la búsqueda de información. Los documentos encontrados en cada base de datos se exportaron en formato RIS seguido de su inserción en el software Rayyan (<https://www.rayyan.ai/>) donde se evaluaron en 4 etapas (revisión de datos, cribado, revisión de texto completo y extracción de datos). Se descartaron documentos duplicados ($n = 9$), revisiones y metanálisis ($n = 144$), capítulos y libros ($n = 164$), estudios de salud y otros enfoques relacionados a los metales pesados ($n = 162$), obteniéndose así 19 documentos, que fueron incluidos en el análisis del presente estudio.

Análisis bibliométrico

Se analizaron los 19 documentos seleccionados utilizando el software R Studio (v.4.5), aplicando un análisis factorial de conceptos a través de la técnica multivariante de análisis de correspondencias múltiples (ACM), empleando los paquetes factoMineR y factoextra.

Análisis y clasificación de la información

La información recopilada fue organizada en tablas seguido de su expresión en mapas y figuras referenciales correspondientes a los cultivos agrícolas identificados. Las tablas fueron construidas con el software Microsoft Excel v.16, los mapas con el software QGIS (v.3.36.1) y las figuras referenciales con el modelo de lenguaje de inteligencia artificial ChatGPT (versión GPT-5, OpenAI). La presentación de los resultados se estructuró en dos epígrafes principales: (3.1.) Análisis de rendimiento y de red y (3.2.) Cultivos agrícolas contaminados con metales pesados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción científica anual

En los últimos 15 años, la producción científica sobre metales pesados en cultivos agrícolas del Perú evidencia una tendencia ascendente a partir del 2017, aunque con fluctuaciones interanuales en el número de publicaciones encontradas ($n = 19$). En los años 2017, 2019, 2022 y 2024 se reportó una sola publicación, lo que representa el 5,3% del total en cada caso. En 2020 y 2025 se registraron 3 (15,8%) y 2 (10,5%) publicaciones, respectivamente. En 2021 se observó un incremento con 4 trabajos (21,1%), mientras que en 2023 se alcanzó el máximo con 6 publicaciones (31,6%), constituyendo el valor más elevado del período 2015-2025 analizado. Este incremento se infiere es resultado de la creciente preocupación por la inocuidad alimentaria y la sostenibilidad de la producción agrícola en el Perú (Ramirez-Hernandez et al., 2020; Galagarza et al., 2021). A medida que la agricultura del Perú intensifica su papel como eje económico y social, especialmente en la exportación de cultivos de consumo masivo, por lo que es de gran relevancia evaluar la posible acumulación de metales pesados en suelos y productos agrícolas (Bedoya-Perales et al., 2023; Orellana et al., 2020). Asimismo, este interés posiblemente se ha potenciado por la presión de los mercados internacionales, que exigen mayores estándares de calidad y seguridad (Udeigwe et al., 2015; Briassoulis, 2023), así como por el aumento de la conciencia pública sobre los riesgos que la contaminación representa para la salud humana (Castro-Bedriñana et al., 2023; Tejada et al., 2024). No obstante, el avance de la frontera agrícola hacia zonas con intensa actividad minera formal e informal ha generado mayor urgencia en la investigación (Cano & Kunz, 2022; Martinez et al., 2023), dado que estas áreas son más susceptibles a procesos de contaminación que afectan la productividad de los cultivos y la seguridad alimentaria. Por tanto, los resultados hallados pueden ser dilucidados.

Producción científica por departamento, Perú

Se demuestra que esta problemática ha sido abordada en 12 regiones (48%) (Huánuco, Ucayali, Junín, Amazonas, San Martín, Arequipa, Piura, Moquegua, Cajamarca, Loreto, Cusco y Tumbes) de las 25 (100%) que componen al Perú (Figura 2). Como se observa en la Figura 3, el patrón de producción científica por departamento indica que las investigaciones sobre esta problemática no se concentran únicamente en la costa ni en la selva del Perú, sino que se enfocan principalmente en la sierra. Esta tendencia puede explicarse porque estas regiones representan áreas clave para la producción agrícola nacional y, al mismo tiempo, son altamente vulnerables a la contaminación por metales pesados, resultado de la intensa actividad minera formal e informal predominante en esta zona (Cuba et al., 2021; Brousett-Minaya et al., 2021; Loza del Carpio & Ccancapa, 2020; Gavilanez, 2016; Arce & Calderón, 2015; Ojeda, 2017). En ese sentido, estudios recientes han resaltado el impacto creciente de la minería ilegal e informal en la Amazonía peruana, lo cual respalda un incremento en estudios y producción científica por regiones, según se ha consignado en este trabajo. Al respecto, un análisis predictivo sobre el uso del suelo en los próximos 50 años identificó un aumento exponencial en la deforestación causada por la minería de oro ilegal e informal desde 1985, alcanzando una superficie de 521,65 km² en 2020. Asimismo, las proyecciones en este estudio, se podría predecir que, para el año 2070, la superficie deforestada podría ser casi tres veces mayor que la registrada en los últimos 35 años, llegando a un total de 1348,51 km² (Elera-Gonzales et al., 2025). En ese contexto, los resultados pueden ser respaldados, indicando la necesidad urgente de fortalecer las políticas de gestión ambiental, manejo y control de la actividad minera, así como de promover prácticas agrícolas sostenibles para mitigar los impactos a largo plazo sobre los ecosistemas y la seguridad alimentaria.

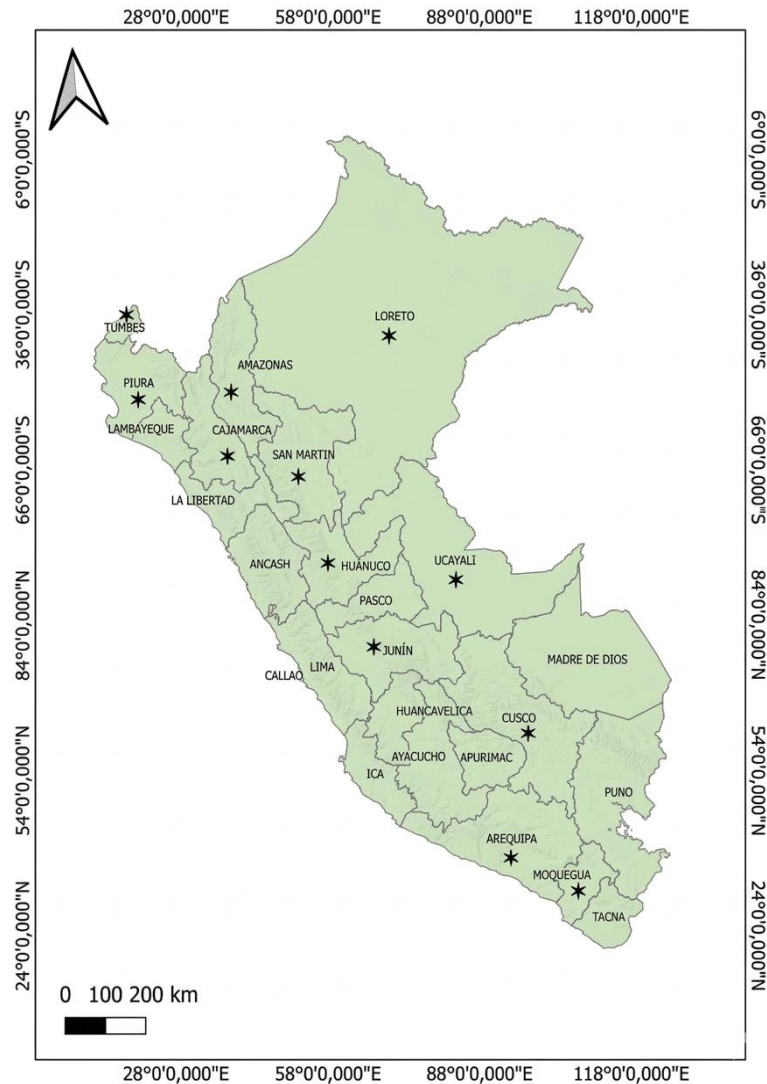


Figura 2. Distribución geográfica y porcentual de los aportes científicos en regiones del Perú. Los asteriscos en el mapa indican las regiones del Perú en las que se han analizado cultivos agrícolas para la detección de metales pesados (*).

Análisis de palabras clave

El análisis de correspondencias múltiples (ACM) (Figura 3), muestra una clara diferenciación en la asociación de conceptos vinculados a los metales pesados en la literatura revisada. En el eje Dim1 (41,6%), se observa que términos como cadmio, arsénico y Perú se agrupan en el extremo derecho, indicando una fuerte relación de estos metales con el contexto peruano y con la temática central de metales pesados y cultivos. En contraste, en el extremo izquierdo se concentran metales como manganeso, selenio, níquel, hierro, cobalto, mercurio y bario, asociados a los conceptos de contaminación y cultivos agrícolas en general, refleja un enfoque más diversificado en los estudios. Hacia el centro se ubican zinc, cobre y plomo, con vínculos más débiles y dispersos respecto a las categorías principales. El eje Dim2 (13,6%) aporta menos variabilidad, pero permite distinguir al cadmio y arsénico como elementos aislados de alta relevancia en los artículos analizados, reforzando la importancia de estos contaminantes específicos en la investigación sobre agricultura y salud en Perú. Estudios previos han utilizado el Análisis de Correspondencias

Múltiples (ACM) como método para diferenciar conceptos representativos en búsquedas bibliográficas (Flores-Iwasaki et al., 2019; Wang, 2023), lo cual refleja que, a través de los porcentajes en los distintos ejes dimensionales, es posible identificar el grado de interés de los investigadores en áreas específicas. Sin embargo, el comportamiento de los términos cadmio y arsénico observado en el Dim1 coincide con los resultados presentados en la tabla 1. Esto se debe a que el Cd fue identificado en diversas concentraciones en todas las especies de cultivos agrícolas analizadas en este estudio, mientras que el As se detectó en la mayoría de ellas. Esta correspondencia evidencia una relación coherente entre los datos mostrados en la Figura 4 y la Tabla 1.

Cultivos agrícolas contaminados con metales pesados

Se determinó que los cultivos frecuentemente analizados en la detección de metales pesados en el Perú abarcan distintas categorías agrícolas, entre ellas se encuentran los cereales, tubérculos, raíces, hortalizas, especies aromáticas y medicinales, leguminosas y cultivos perennes.

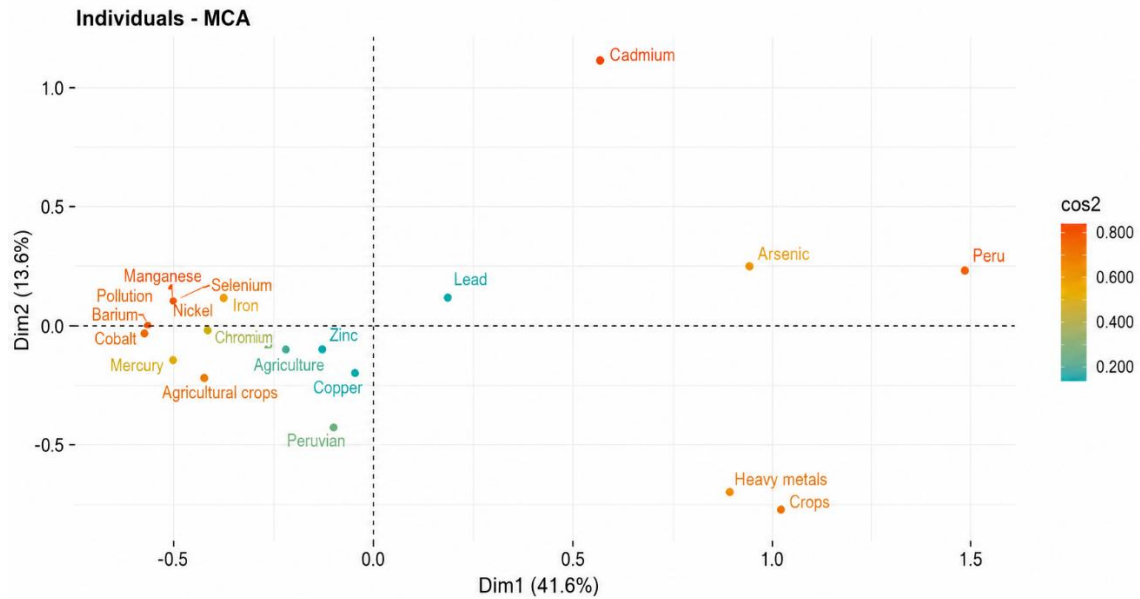


Figura 3. Análisis factorial de conceptos mediante análisis de correspondencias múltiples (ACM).

Como se muestra en la Tabla 1, entre las raíces y tubérculos con presencia de metales pesados se encuentran la papa (*Solanum tuberosum* L.), el olluco (*Ullucus tuberosus*), la oca (*Oxalis tuberosa*), la maca (*Lepidium meyenii* Walp.) y la zanahoria (*Daucus carota* subsp. *sativus*) tienen un papel preponderante en la calidad del suelo. De acuerdo con Darko et al. (2020), estos cultivos destacan por su amplio consumo y alto potencial de bioacumulación subterránea. Esto concuerda con lo señalado por Wiczorek et al. (2023), quienes indican que, debido a su crecimiento bajo tierra y su contacto directo con el sustrato, estas especies pueden bioacumular metales en niveles significativos. Lo cual podría explicar la presencia de metales pesados (como As, Cd, Pb, Al, Mn, Cu, Ba, Cr y Ni) y residuos de pesticidas encontrados en cultivares de papa tradicionales y modernos. Siendo Moquegua, una de las principales regiones productoras de cobre del Perú (Bedoya et al., 2023). En ese contexto, dicho problema no solo se manifiesta a nivel local, sino también a nivel internacional como en regiones de África (Ghana), donde la actividad minera es la principal responsable que cultivos agrícolas como los tubérculos se encuentren contaminados con metales pesados (Bortey-Sam et al., 2015). Por tanto, la evidencia científica recolectada y contrastada, señala que los tubérculos pueden acumular metales pesados, siendo esencial realizar investigaciones científicas, más aún si son cultivos ampliamente consumidos.

Respecto a los cereales y pseudocereales contaminados con metales pesados, se han identificado especies como el maíz (*Zea mays*), la cebada (*Hordeum vulgare* L.), el arroz (*Oryza sativa*) y la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Según Bala (2016), los cereales se caracterizan por tener la capacidad de almacenamiento, lo que posibilita conservar sus granos por largos periodos sin comprometer significativamente su valor nutricional. Estudios previos han revelado que

algunos cereales muestran tolerancia a metales pesados, lo que los hace útiles para estudiar interacciones planta-metal y potenciales para fitorremediación (Singh et al., 2022; Fukusaki et al., 2005). Asimismo, se ha encontrado que estas especies poseen mecanismos naturales que les permiten resistir el estrés por metales pesados, minimizando los efectos tóxicos de estos en sus tejidos (Jeyasri et al., 2021), tal es el caso, en cultivos como el maíz, cuando son tratados con pesticidas pueden retener o presentar elementos trazas de dichos productos químicos en sus granos (Hasnaki et al., 2023, Irfan et al., 2022).

Por otro lado, un aspecto destacado de los hallazgos en los cereales, es la investigación realizada en el departamento de Tumbes, donde se identificó la presencia de arsénico (As) en granos de *Oryza sativa* L. "arroz". Si bien la mayoría de las muestras presentaron concentraciones bajas, algunas ($n = 7$) superaron los $200 \mu\text{g kg}^{-1}$, lo que podría implicar un riesgo para la salud humana ante una exposición crónica (Mondal et al., 2020). Asimismo, la detección de niveles reducidos de metales pesados en otros granos podría explicarse por estudios que señalan que la fracción biodisponible de As en el suelo suele ser menor que su contenido total, dado que este elemento tiende a formar compuestos estables menos accesibles para las plantas, proceso que depende de las interacciones entre el suelo, el agua y el sistema radicular (Allevato et al., 2019). Esto coincide con estudios de décadas atrás en los que se ha dado a conocer que el As es fuertemente absorbido por hidróxidos de Fe, Mn y Al, así como por suelos arcillosos (De la Fuente et al., 2010). Existiendo una relación con los tipos de suelos del departamento de Tumbes, puesto que la clasificación de Regiones geográficas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), señala que la costa norte del Perú (incluyendo Piura y Tumbes) presenta suelos arcillosos y alcalinos (vertisoles) (Brack & Mendiola, 1997).

Tabla 1

Presencia y/o ausencia de metales pesados en cultivos agrícolas del Perú

Pb	Ni	Cd**	Cr	As*	Hg	Ba	Al	Cu	Co	Sn	Año	Región	Fuente	Cultivo agrícola
P	A	P	P	A	A	A	A	P	A	A	2024	Junín	Orellana-Mendoza et al.	Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	
P	P	P	P	P	A	P	P	P	A	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	
A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	2023	Piura	Guarin et al.	Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)
A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	2023	San Martín	Luis-Alaya et al.	
A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	2023	Tumbes, Piura, Amazonas, Loreto, Huánuco, San Martín	Thomas et al.	
A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	2022	Amazonas	Arce-Inga et al.	
P	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	2020	Huánuco, Ucayali	Rosales-Huamani et al.	
A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	2019	Huánuco	Zug et al.	
P	P	P	P	A	A	A	A	P	A	A	2017	Piura	Arévalo-Gardini et al.	
P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	A	2025	Moquegua	Bedoya-Perales e al.	
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	Maíz (<i>Zea mays</i>)
P	A	P	A	A	P	A	A	A	A	P	2021	Arequipa	Roman-Ochoa et al.	
P	A	P	A	P	A	A	A	P	A	A	2020	Junín	Custodio et al.	
P	A	A	A	P	A	A	A	P	P	A	2021	Junín	Custodio et al.	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)
P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	A	2025	Moquegua	Bedoya-Perales e al.	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	
P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	A	2025	Moquegua	Bedoya-Perales e al.	Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	Palta (<i>Persea Americana</i>)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	Haba (<i>Vicia faba</i>)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	Olluco (<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)
P	A	P	P	P	A	A	A	P	A	A	2023	Arequipa	Roman-Ochoa et al.	Arroz (<i>Oryza sativa</i>).
P	A	P	A	A	P	A	A	A	A	P	2021	Arequipa	Roman-Ochoa et al.	
A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	2020	Tumbes	Mondal et al.	
P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	A	2025	Moquegua	Bedoya-Perales e al.	Olivo (<i>Olea europaea</i>)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	
P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	A	2025	Moquegua	Bedoya-Perales e al.	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	
P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	A	2025	Moquegua	Bedoya-Perales e al.	Apio (<i>Apium graveolens</i>)
P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	2023	Moquegua	Bedoya-Perales et al.	
P	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	2025	Huánuco	Rofner et al.	Café (<i>Coffea arabica</i> L.)
P	A	P	A	A	P	A	A	A	A	P	2021	Arequipa	Roman-Ochoa et al.	Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
P	A	P	P	P	A	A	A	P	A	A	2023	Arequipa	Roman-Ochoa et al.	Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)
P	A	P	A	A	P	A	A	A	A	P	2021	Arequipa	Roman-Ochoa et al.	
P	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	2025	Moquegua	Bedoya-Perales e al.	Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)
P	P	A	A	P	A	A	A	A	A	A	2021	Junín	Orellana Mendoza et al.	Maca (<i>Lepidium meyenii</i> Walp.)
P	A	P	P	P	P	A	A	A	A	A	2021	Arequina	Quispe et al.	Menta (<i>Mentha sativa</i>).
P	A	P	P	P	P	A	A	A	A	A	2021	Arequina	Quispe et al.	Cilantro (<i>Mentha spicata</i> L.).
P	A	P	P	P	P	A	A	A	A	A	2021	Arequina	Quispe et al.	Ajo (<i>Allium sativum</i>)
P	A	P	P	P	P	A	A	A	A	A	2021	Arequina	Quispe et al.	Puerro (<i>Allium ampeloprasum</i> var. <i>porrum</i>)

(P) Indica presencia de metales pesados.

(A) Indica ausencia de metales pesados.

Cd** indica metal pesado hallado en todos los cultivos agrícolas del estudio.

As* indica metal pasado hallado en la mayoría de todos los cultivos agrícolas del estudio.

En ese sentido, las características del comportamiento del As frente a otras moléculas orgánicas y los suelos arcillosos, podrían ser claves en estrategias que contribuyan a mitigar el impacto de su contaminación con As. No obstante, Maher & Nowak (2022) señalan que estos cultivos poseen un alto valor agrícola y alimentario tanto en el Perú como a nivel mundial, lo que justifica su importancia en las investigaciones sobre contaminación por metales pesados. Asimismo, Thielecke & Nugent (2018) destacan que cereales como maíz, cebada y arroz son pilares fundamentales en la dieta humana y constituyen una fuente primaria de carbohidratos, por lo que la presencia de contaminantes en ellos representa un riesgo directo para la seguridad alimentaria.

Frijol (*Phaseolus vulgaris*) y haba (*Vicia faba*), por su importancia nutricional y en sistemas andinos, fueron las leguminosas con presencia de metales pesados. Estas especies poseen la capacidad de interactuar con bacterias fijadoras de nitrógeno, que pueden modificar la biodisponibilidad de metales en el suelo (Aldoobie & Beltagi, 2013; Silva-Gigante et al., 2023). Asimismo, las semillas de leguminosas suelen mostrar la capacidad de acumular grandes cantidades de metales tóxicos sin cambiar su apariencia ni su rendimiento (Saadaoui et al., 2017).

En lo que corresponde a hortalizas de hoja con metales pesados, se hallaron en lechuga (*Lactuca sativa*), espinaca (*Spinacia oleracea*) y apio (*Apium graveolens*). En cuanto a hortalizas de bulbo, se encontraron en ajo (*Allium sativum*) y puerro (*Allium ampeloprasum* var. porrum). Dentro de las hortalizas de fruto se registraron el tomate (*Solanum lycopersicum*) y brócoli (*Brassica oleracea* var. italica). Las hortalizas de hoja y bulbo, como la lechuga, espinaca, apio, ajo y puerro, se caracterizan por su rápido crecimiento y alta superficie de absorción, favoreciendo la translocación de metales hacia los tejidos comestibles (Sian et al., 2025; Kong et al., 2024; Czarnek et al., 2023). En el caso de las hortalizas de fruto como tomate y brócoli, su importancia e inclusión en estudios sobre metales pesados radica en el consumo masivo y el potencial de acumular contaminantes en órganos de almacenamiento de nutrientes (Roba et al., 2016; Wale, 2023).

Es pertinente mencionar que, entre los cultivos perennes y frutales y/o industriales con presencia de metales pesados, se hallaron al cacao (*Theobroma cacao* L.), la palta (*Persea americana*), el olivo (*Olea europaea*) y el café (*Coffea arabica* L.). Algunos estudios describen que estos cultivos se caracterizan por ser de gran valor económico (Lagneaux et al., 2021; Casilla et al., 2025; Charry et al., 2023). Además, estudios previos demostraron que, poseen la capacidad de acumular metales en granos y frutos (Arévalo-Gardini et al., 2017; Lagneaux et al., 2021). Sin embargo, la consideración de estos cultivos en investigaciones sobre metales pesados responde no solo a su capacidad para bioacumular dichos elementos, sino también a su relevancia como productos de exportación y a la importancia de asegurar la inocuidad dentro de las cadenas de valor (Carrasco et al., 2020; Valdiglesias, 2024). Por lo tanto, esta distribución evidencia que la investigación se ha concentrado en matrices de alta exposición poblacional y en rubros estratégicos para la economía agraria.

Finalmente, entre las plantas aromáticas y medicinales halladas con metales pesados se encuentran la menta (*Mentha sativa*) y el cilantro (*Mentha spicata* L.). Algunos autores dejan entrever que el estudio de estos cultivos es importante no solo por su valor culinario, sino también porque pueden funcionar como reservorios de contaminantes que, al ser consumidos con frecuencia, representan un riesgo potencial para la salud (Kunwar et al., 2015; Gharib et al., 2021; Dahija et al., 2025). En este sentido, Rubio et al. (2012) identificaron la presencia de diversos metales, incluidos Cd, Pb, K, Na, Ca, Mg, Al, B, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Li, Ni y Mo, en bolsitas de té y hojas sueltas de *Mentha* sp. en España. Asimismo, estudios recientes, donde se evaluó la respuesta de *Mentha piperita* por la contaminación del suelo con Cd, Pb, Ni y As, así como la transferencia y distribución de estos metales desde el suelo hacia raíces, tallos y hojas, demostraron que esta planta puede acumular Cd, Ni y Pb en las diferentes estructuras morfológicas, no siendo así el caso para As. Además, el patrón de acumulación siguió el orden raíces > tallos > hojas (Dinu et al., 2021).

CONCLUSIONES

Los estudios revisados determinaron que los cultivos más frecuentemente analizados por presencia de metales pesados corresponden a diferentes categorías productivas, destacando cereales, tubérculos, hortalizas, aromáticas, leguminosas y perennes. Entre ellos, *Theobroma cacao* L. "cacao" constituye uno de los cultivos de mayor preocupación, dado que se han reportado concentraciones de cadmio, plomo y otros metales en regiones clave de la producción nacional, mientras que en el arroz se ha documentado arsénico en la región Tumbes. Este panorama refleja la vulnerabilidad de productos de alta importancia económica y alimentaria, lo que supone un desafío para garantizar su inocuidad y

competitividad en mercados internacionales. En consecuencia, se hace indispensable fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental, promover la innovación tecnológica en el manejo de suelos y cultivos, y establecer políticas públicas eficaces que salvaguarden tanto la salud de la población como la sostenibilidad agrícola del país. Por otro lado, el análisis bibliométrico realizado sobre la producción científica en torno a la detección de metales pesados en cultivos agrícolas del Perú evidencia un incremento significativo en los últimos años, con un punto máximo en el año 2023. Si bien la cantidad de publicaciones aún resulta limitada, la tendencia ascendente refleja un creciente interés académico y social por esta

problemática, en especial a partir de 2017. Los resultados demostraron que el 48% de las regiones del país han sido objeto de estudio, concentrándose mayormente en la sierra y la selva, donde convergen la actividad agrícola con una fuerte presión minera. Este patrón evidencia la relevancia de dichas zonas no solo en la producción de

alimentos estratégicos, sino también en su exposición a riesgos ambientales derivados de prácticas extractivas. La investigación científica es una herramienta clave para comprender la magnitud de la contaminación y orientar acciones de prevención, mitigación y control de las actividades agrícolas y mineras, especialmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

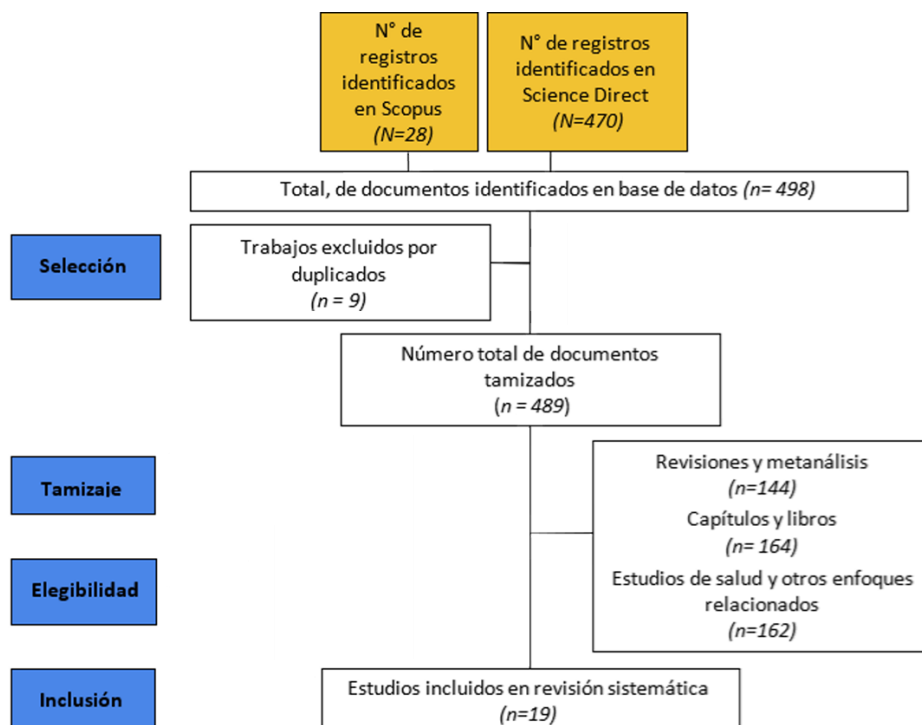
- Adnan, M., Xiao, B., Ali, M., Xiao, P., Zhao, P., Wang, H., & Bibi, S. (2024). Heavy metals pollution from smelting activities: A threat to soil and groundwater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 274, 116189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116189>
- Aldoobie, N. F., & Beltagi, M. S. (2013). Physiological, biochemical and molecular responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to heavy metals stress. *African Journal of Biotechnology*, 12(29), 4614-4622. <https://doi.org/10.5897/AJB2013.12387>
- Alejos-Patiño, IW, Briceño-Yen, H., Campos-Felix, U., & Figueroa-Ramírez, J. (2026). Metales pesados en suelo, agua y plantas cultivadas de un agroecosistema periurbano en un valle interandino del Perú. *Bioagro*, 38(1), 509-522. <https://doi.org/10.51372/bioagro381.10>
- Allevato, E., Stazi, S. R., Marabottini, R., & D'Annibal, A. (2019). Mecanismos de asimilación de arsénico por las plantas y contramedidas para atenuar su acumulación en cultivos distintos del arroz. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 185, 109701. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109701>
- Angon, P., Islam, M., Kc, S., Das, A., Anjum, N., Poudel, A., & Suchi, S. (2024). Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. *Heliyon*, 10, e28357. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>
- Arce, S., & Calderón, M. (2015). *Suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya, Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro*. INGEMMET.
- Arce-Inga, M., González-Pérez, A. R., Hernandez-Diaz, E., Chuquibala-Checan, B., Chavez-Jalk, A., Llanos-Gomez, K. J., Leiva-Espinoza, S. T., Oliva-Cruz, S. M., & Cumpa-Velasquez, L. M. (2022). Bioremediation potential of native *Bacillus* sp. strains as a sustainable strategy for cadmium accumulation of *Theobroma cacao* in Amazonas region. *Microorganisms*, 10(11), 2108. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112108>
- Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V. C., & He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of the Total Environment*, 605, 792-800. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.122>
- Bala, B. K. (2016). *Secado y almacenamiento de granos de cereales*. John Wiley & Sons.
- Bedoya-Perales, N., Escobedo-Pacheco, E., Maus, D., Neimaier, A., & Pumi, G. (2023). Dataset of metals and metalloids in food crops and soils sampled across the mining region of Moquegua in Peru. *Scientific Data*, 10(483). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02363-0>
- Bedoya-Perales, N., Maus, D., Pumi, G., Dantas, S. V., & Ferreira, S. L. (2025). Health risk assessment from heavy metals in crops grown and marketed by family farmers in the mining region of Moquegua, Peru. *Food Research International*, 217, 116829. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116829>
- Bortey-Sam, N., Nakayama, S. M., Akoto, O., Ikenaka, Y., Fobil, J. N., Baidoo, E., Mizukawa, H., & Ishizuka, M. (2015). Accumulation of heavy metals and metalloid in foodstuffs from agricultural soils around Tarkwa area in Ghana, and associated human health risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 8811-8827. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808811>
- Brack, F., & Mendiola, L. (1997). ONERN. <https://www.midagri.gob.pe/portal/43-sector-agrario/suelo/330-clasificacion>
- Briassoulis, D. (2023). Agricultural plastics as a potential threat to food security, health, and environment through soil pollution by microplastics: Problem definition. *Science of the Total Environment*, 892, 164533. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164533>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6, e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Brousett-Minaya, M. A., Rondan-Sanabria, G. G., Chirinos-Marroquín, M., & Biamont-Rojas, I. (2021). Impacto de la minería en aguas superficiales de la región Puno - Perú. *Fides et Ratio-Revista de Difusión Cultural y Científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 21(21), 187-208.
- Caballero, J. M., Glez-Weller, D., Gutiérrez, A. J., Hardisson, A., Lucas, J. R. D., Pérez Marrero, B., Revert, C., & Rubio, C. (2012). Evaluation of metal concentrations in mentha herbal teas (*Mentha piperita*, *Mentha pulegium* and *Mentha* species) by inductively coupled plasma spectrometry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 71, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.07.015>
- Cano, A., & Kunz, N. (2022). Large-scale and small-scale mining in Peru: Exploring the interface. *Resources Policy*, 76, 102530. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102530>
- Casilla García, ME, Calf, RA, Cotrado Cotrado, J., Casilla Rondan, JI, Huatuco Coaquira, JL, & Bedoya Justo, EV (2025). Genetic Diversity of Olive (*Olea europaea* L.) Cultivars Assessed by Genotyping-by-Sequencing in Southern Peru. *Agriculture*, 15(12), 1237. <https://doi.org/10.3390/agriculture15121237>
- Castro-Bedriñana, J., Chirinos-Peinado, D., Ríos-Ríos, E., Castro-Chirinos, G., Chagua-Rodríguez, P., & De La Cruz-Calderón, G. (2023). Lead, cadmium, and arsenic in raw cow's milk in a Central Andean area and risks for the Peruvian populations. *Toxics*, 11(10), 809. <https://doi.org/10.3390/toxics11100809>
- Charry, A., Perea, C., Ramírez, K., Zambrano, G., Yovera, F., Santos, A., & Pulleman, M. (2025). La economía agrícol de los diferentes sistemas de producción de cacao en Colombia, Ecuador y Perú. *Sistemas Agrícolas*, 224, 104235. <https://doi.org/10.1016/j.jagsy.2024.104235>
- Cuba, O., Fuentes Bernedo, F. E., & Coral Surco, R. G. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray - Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 27-37. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>
- Custodio, M., Peñaloza, R., Orellana, E., Aguilar-Cáceres, M. A., & Maldonado-Oré, E. M. (2021). Heavy metals and arsenic in soil and cereal grains and potential human risk in the central region of Peru. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1), 206-220. <https://doi.org/10.12911/22998993/129255>
- Czarnek, K., Tatarczak-Michalewska, M., Szopa, A., Klimek-Szczykutowicz, M., Jaferník, K., Majerek, D., & Blicharska, E. (2023). Capacidad de bioacumulación de cebolla (*Allium cepa* L.) probada con metales pesados en biofortificación. *Molecules*, 29(1), 101. <https://doi.org/10.3390/molecules29010101>
- Dahija, S., Karalija, E., Pilić, S., Čaušević, A., Parić, A., Đug, S., & Muratović, E. (2025). Respuestas bioquímicas y fisiológicas de *Mentha aquatica* L. al agua contaminada con metales pesados: Implicaciones para la fitorremediación. *Bioremediation Journal*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/10889868.2025.2549002>
- Darko, G., Adjei, S., Nkansah, M., Borquaye, L., Boakye, K., & Dodd, M. (2020). Acumulación y bioaccesibilidad de metales tóxicos en tubérculos y suelos de comunidades mineras y agrícolas de la región Ashanti de Ghana. *International Journal of Environmental Health Research*, 32, 426-436. <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1772203>
- De la Fuente, C., Clemente, R., Alburquerque, J. A., Vélez, D., & Bernal, M. P. (2010). Implicaciones del uso de aguas subterráneas ricas en arsénico para fines agrícolas y los efectos de las enmiendas del suelo en la solubilidad del arsénico. *Environmental Science & Technology*, 44, 9463-9469. <https://doi.org/10.1021/es102012s>
- Dinu, C., Gheorghe, S., Tenea, A. G., Stoica, C., Vasile, G.-G., Popescu, R. L., Serban, E. A., & Pascu, L. F. (2021). Toxic metals (As, Cd, Ni, Pb) impact in the most common medicinal plant (*Mentha piperita*). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 3904. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083904>
- Elera-Gonzales, D. G., da Silva, C. L., de Moura Melo, L., Nogueira, S. S., de Sousa, R. R., de Sousa Alves, M. D., Nonato, E. R. L., de Sousa, M. B., Dos Santos Souza, C., Silva, M. J. N., Cortez, L. E.

- B., & Silva, E. A. (2025). Deforestation driven by illegal and informal gold mining in the southern Peruvian Amazon: a predictive land use analysis over the next 50 years. *Environ Monit Assess*, 197, 792. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14209-w>
- Flores-Iwasaki, M., Guadalupe, G. A., Pachas-Caycho, M., Chapa-Gonza, S., Mori-Zababurú, R. C., & Guerrero-Abad, J. C. (2025). Internet of Things (IoT) Sensors for Water Quality Monitoring in Aquaculture Systems: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *Agri Engineering*, 7(3), 78. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078>
- Fukasaki, E., & Kobayashi, A. (2005). Plant metabolomics: potential for practical operation *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100, 347–354. <https://doi.org/10.1263/jbb.100.347>
- Galagarza, O., Ramirez-Hernandez, A., Oliver, H., Rodríguez, M., Del Carmen Valdez Ortiz, M., Vera, E., Cereceda, Y., Diaz-Valencia, Y., & Deering, A. (2021). Occurrence of chemical contaminants in Peruvian produce: A food-safety perspective. *Foods*, 10(7), 1461. <https://doi.org/10.3390/foods10071461>
- Gavilanez García, L. E. (2016). *Estudio de la concentración del plomo en el agua del río Tumbes periodo 2012-2015 como causa de la minería aurífera y su relación con la salud de los pobladores del caserio de Rica Playa – Tumbes*. Universidad Nacional de Tumbes.
- Gharib, F. A., Mansour, K. H., Ahmed, E. Z., & Galal, T. M. (2021). Heavy metals concentration, and antioxidant activity of the essential oil of the wild mint (*Mentha longifolia* L.) in the Egyptian watercourses. *International Journal of Phytoremediation*, 23(6), 641–651. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1847035>
- Guarín, D., Rodríguez Hamamura, N., Blancas Cortez, J., Benavides, J., Spargo, J., Gultinan, M., Maximova, S., Acha de la Cruz, O., & Drohan, P. J. (2023). Cadmium contamination in cacao farms of Piura, North Peru: A comprehensive assessment of geogenic and anthropogenic sources and implications for future production. *Environmental Challenges*, 13, 100765. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100765>
- Hasnaki, R., Ziaee, M., & Mahdavi, V. (2023). Pesticide residues in corn and soil of corn fields of Khuzestan, Iran, and potential health risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115(1), 104972. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104972>
- Irfan, M., Dawar, K., Fahad, S., Mehmood, I., Alamri, S., Siddiqui, M. H., Saud, S., Khattak, J. Z. K., Ali, S., & Hassan, S. (2022). Exploring the potential effect of Achnatherum splendens L.-derived biochar treated with phosphoric acid on bioavailability of cadmium and wheat growth in contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 37676–37684. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17950-0>
- Jeyasri, R., Muthuramalingam, P., Satish, L., Pandian, S. K., Chen, J.-T., Ahmar, S., Wang, X., Mora-Poblete, F., & Ramesh, M. (2021). Una visión general del estrés abiótico en cultivos de cereales: Impactos negativos, regulación, biotecnología y ómica integrada. *Plants*, 10(7), 1472. <https://doi.org/10.3390/plants10071472>
- Kong, Y., Liu, J., Chen, M., Zheng, W., Liu, Y., Wang, Y., Ruan, X., & Wang, Y. (2024). Acumulación y evaluación de riesgos de metales pesados en diferentes variedades de hortalizas de hoja. *Environmental Geochemistry and Health*, 46(12), 527. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02314-7>
- Kunwar, G., Pande, C., Tewari, G., Singh, C., & Kharkwal, G. C. (2015). Effect of Heavy Metals on Terpenoid Composition of *Ocimum basilicum* L. and *Mentha spicata* L. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(4), 818–825. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.935091>
- Lagneaux, E., Andreotti, F., & Neher, C. M. (2021). Cacao, copoazú y macambo: Explorando la diversidad de *Theobroma* en sistemas agroforestales de pequeños productores de la Amazonia peruana. *Agroforestry Systems*, 95(7), 1359–1368. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00610-0>
- Laoye, B., Olagbemide, P., Ogunnusi, T., & Akpor, O. (2025). Heavy metal contamination: Sources, health impacts, and sustainable mitigation strategies with insights from Nigerian case studies. *F1000Research*, 14, 134. <https://doi.org/10.12688/f1000research.160148.1>
- López Cuadra, Y. M., Cunias Rodríguez, M. Y., & Carrasco Vega, Y. L. (2020). *El cacao peruano y su impacto en la economía nacional*. Universidad y Sociedad, 12(3), 344–352.
- Loza del Carpio, A. L., & Ccancapa Salcedo, Y. (2020). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada, Puno, Perú). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1), 33–44. <https://doi.org/10.20937/rica.2020.36.53317>
- Luis-Alaya, B., Toro, M., Calsina, R., Ogata-Gutiérrez, K., Gil-Polo, A., Ormeño-Orrillo, E., & Zúñiga-Dávila, D. (2023). Evaluation of the Presence of Arbuscular Mycorrhizae and Cadmium Content in the Plants and Soils of Cocoa Plantations in San Martín, Peru. *Diversity*, 15(2), 246. <https://doi.org/10.3390/d15020246>
- Maher, A., & Nowak, A. (2022). Chemical contamination in bread from food processing and its environmental origin. *Molecules*, 27(17), 5406. <https://doi.org/10.3390/molecules27175406>
- Martinez, G., Smith, N., & Malone, A. (2023). “I am formal, what comes next?”: A proposed framework for achieving sustainable artisanal and small-scale mining formalization in Peru. *The Extractive Industries and Society*, 13, 101227. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101227>
- Mondal, D., Periche, R., Tineo, B., Bermejo, L. A., Rahman, M. M., Siddique, A. B., Rahman, M. A., Solis, J. L., & Cruz, G. J. F. (2020). Arsenic in Peruvian rice cultivated in the major rice growing region of Tumbes river basin. *Chemosphere*, 41, 125070. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125070>
- Munir, N., Jahangeer, M., Bouyahya, A., Omari, N., Ghchime, R., Balahbib, A., Aboulaghras, S., Mahmood, Z., Akram, M., Shah, S., Mikolaychik, I., Derkho, M., Rebezov, M., Venkidasamy, B., Thiruvengadam, M., & Shariati, M. (2021). Heavy metal contamination of natural foods is a serious health issue: A review. *Sustainability*, 14, 10161. <https://doi.org/10.3390/su14010161>
- Ojeda Huerta, E. R. (2017). *Escenarios para la gestión de recursos hídricos entre el Perú y Ecuador: El caso de la contaminación del Río Puyango-Tumbes*. Tesis Maestría en Diplomacia y Relaciones Internacionales. Academia Diplomática del Perú.
- Orellana, E., Custodio, M., Bastos, M., & Ascención, J. (2020). Heavy metals in agriculture soils from high Andean zones and potential ecological risk assessment in Peru's Central Andes. *Journal of Ecological Engineering*, 21, 108–119. <https://doi.org/10.12911/22998993/127094>
- Orellana-Mendoza, E., Camel, V., Yallico, L., Quispe-Coquil, V., & Cosme, R. (2024). Effect of fertilization on the accumulation and health risk for heavy metals in native Andean potatoes in the highlands of Perú. *Toxicology Reports*, 12, 594–606. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.05.006>
- Orellana-Mendoza, E., Cuadrado, W., Yallico, L., Zárate, R., Rojas, N., Chávez, E., Berrocal, M., & Jara, E. (2021). Heavy metals in soils and edible tissues of *Lepidium meyenii* (maca) and health risk assessment in areas influenced by mining activity in the Central region of Peru. *Toxicology Reports*, 8, 1461–1470. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.07.016>
- Page, V., & Feller, U. (2015). Heavy metals in crop plants: Transport and redistribution processes on the whole plant level. *Agronomy*, 5, 447–463. <https://doi.org/10.3390/agronomy5030447>
- Piñeiro, X., Ave, M., Mallah, N., Caamaño-Isorna, F., Jiménez, A., Vieira, D., Bianchini, F., & Muñoz-Barús, J. (2021). Heavy metal contamination in Peru: Implications on children's health. *Scientific Reports*, 11, 2163–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02163-9>
- Quispe, N., Zanabria, D., Chávez, E., Cuadros, F., Carling, G. T., & Paredes, B. (2021). Health risk assessment of heavy metals (Hg, Pb, Cd, Cr and As) via consumption of vegetables cultured in agricultural sites in Arequipa, Peru. *Chemical Data Collections*, 33, 100723. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2021.100723>
- Rai, P., Lee, S., Zhang, M., Tsang, Y., & Kim, K. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 125, 365–385. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>
- Ramirez-Hernandez, A., Galagarza, O., Rodríguez, M., Vera, E., Del Carmen Valdez Ortiz, M., Deering, A., & Oliver, H. (2020). Food safety in Peru: A review of fresh produce production and challenges in the public health system. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3323–3342. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12647>
- Rashid, A., Schutte, B., Ulery, A., Deyholos, M., Sanogo, S., Lehnhoff, E., & Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: Environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, 13, 1521. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061521>
- Roba, C., Roşu, C., Piştea, I., Ozunu, A., & Baci, C. (2016). Contenido de metales pesados en hortalizas y frutas cultivadas en la zona minera de Baia Mare (Rumania) y evaluación de riesgos para la salud. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 6062–6073. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4799-6>
- Román-Ochoa, Y., Delgado, G., Tejada, T., Yucra, H., Durand, A., & Hamaker, B. (2021). Heavy metal contamination and health

- risk assessment in grains and grain-based processed food in Arequipa region of Peru. *Chemosphere*, 274, 129792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129792>
- Román-Ochoa, Y., Choque Delgado, G. T., Tejada, T. R., Yucra, H. R., Durand, A. E., Ozturk, O. K., & Hamaker, B. R. (2023). Light abrasive decortication of heavy metal contaminated quinoa and rice from southern Peru reduces lead and arsenic contamination, but not cadmium. *Journal of Cereal Science*, 114, 103807. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103807>
- Rosales-Huamani, J. A., Breña-Ore, J. L., Sespedes-Varkarsel, S., Huamanchumo de la Cuba, L., Centeno-Rojas, L., Otiniano-Zavala, A., Andrade-Choque, J., Valverde-Espinoza, S., & Castillo-Sequera, J. L. (2020). Study to determine levels of cadmium in cocoa crops applied to inland areas of Peru: The case of the Campo Verde-Honoria Tournavista Corridor. *Agronomy*, 10(10), 1576. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101576>
- Saadaoui, W., Mokrani, K., & Mezghani, N. (2017). Accumulation ability of three heavy metals in two legumes (bean and faba bean) in vegetative stage at different concentrations. *Modern Agricultural Science and Technology*, 3, 54–64. [https://doi.org/10.15341/mástil\(2375-9402\)/01.03.2017/008](https://doi.org/10.15341/mástil(2375-9402)/01.03.2017/008)
- Scutaraşu, E., & Trincă, L. (2023). Heavy metals in foods and beverages: Global situation, health risks and reduction methods. *Foods*, 12, 18340. <https://doi.org/10.3390/foods12183340>
- Sian, N., Dek, M., Sanny, M., Shukri, R., & Ramli, N. (2025). Evaluación de metales pesados en hortalizas de hoja seleccionadas de Selangor, Malasia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 48(1), 12. <https://doi.org/10.47836/pjtas.48.1.12>
- Silva-Gigante, M., Hinojosa-Reyes, L., Rosas-Castor, J. M., Quero-Jiménez, P. C., Pino-Sandoval, D. A., & Guzmán-Mar, J. L. (2023). Heavy metals and metalloids accumulation in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): A review. *Chemosphere*, 335, 139010. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139010>
- Singh, A., & Roychoudhury, A. (2022). Omics Tools to Understand Abiotic Stress Response and Adaptation in Rye, Oat and Barley. In: Roychoudhury, A., Aftab, T., Acharya, K. (eds) Omics Approach to Manage Abiotic Stress in Cereals. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0140-9_21
- Tejada-Purizaca, T., García-Chevesich, P., Ticona-Quea, J., Martínez, G., Martínez, K., Morales-Paredes, L., Romero-Mariscal, G., Arenazas-Rodríguez, A., Vanzin, G., Sharp, J., & McCray, J. (2024). Heavy metal bioaccumulation in Peruvian food and medicinal products. *Foods*, 13(5), 762. <https://doi.org/10.3390/foods13050762>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, A., & González-Delgado, Á. (2022). Adsorption study of continuous heavy metal ions (Pb²⁺, Cd²⁺, Ni²⁺) removal using cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husks. *Materials*, 15(19), 6937. <https://doi.org/10.3390/ma15196937>
- Thielecke, F., & Nugent, A. P. (2018). Contaminants in grain—A major risk for whole grain safety? *Nutrients*, 10(9), 1213. <https://doi.org/10.3390/nu10091213>
- Thomas, E., Atkinson, R., Zavaleta, D., Rodriguez, C., Lastra, S., Yovera, F., Arango, K., Pezo, A., Aguilar, J., Tames, M., Ramos, A., Cruz, W., Cosme, R., Espinoza, E., Chavez, C. R., & Ladd, B. (2023). The distribution of cadmium in soil and cacao beans in Peru. *Science of the Total Environment*, 881, 163372. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163372>
- Udeigwe, T., Teboh, J., Eze, P., Stietiya, M., Kumar, V., Hendrix, J., Mascagni, H., Ying, T., & Kandakji, T. (2015). Implications of leading crop production practices on environmental quality and human health. *Journal of Environmental Management*, 151, 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.024>
- Valdiglesias Oviedo, J. (2024). *Asociatividad de pequeños agricultores y exportación en la región peruana de Cajamarca*. *Apuntes. Revista de Ciencias Sociales*, 51(96), 163-192. <https://doi.org/10.21678/apuntes.96.1970>
- Wang, F. (2023). *The present and future of the digital transformation of real estate: A systematic review of smart real estate*, 17(2), 85-97. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2023.2.85.97>
- Wale, K. (2023). Panorama general de la concentración de metales pesados en frutas y verduras. *International Journal of Food Science and Biotechnology*, 8(2), 12. <https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20230802.12>
- Wieczorek, J., Baran, A., & Bubak, A. (2023). Movilidad, bioacumulación en plantas y evaluación de riesgos de metales en suelos. *Science of the Total Environment*, 882, 163574. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163574>
- Xiang, M., Li, Y., Yang, J., Lei, K., Li, Y., Li, F., Zheng, D., Fang, X., & Cao, Y. (2021). Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops. *Environmental Pollution*, 278, 116911. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116911>
- Zug, K. L. M., Huamani Yupanqui, H. A., Meyberg, F., Cierjacks, J. S., & Cierjacks, A. (2019). Cadmium accumulation in Peruvian cacao (*Theobroma cacao* L.) and opportunities for mitigation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(3), 72. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>

Apéndice A1

Flujo de la selección de estudios según la declaración PRISMA



Apéndice A2

Tabla A1. PRISMA Checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	✓
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	✓
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	✓
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	✓
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	✓
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	✓
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	✓
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	✓
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	✓
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	✓
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	✓
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	
DISCUSSION			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	✓
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	✓
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	✓
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	✓
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	✓
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	✓
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	✓
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	✓
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	✓
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	✓

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71. This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>