

Contaminación hídrica por metales pesados en un contexto de cambio climático mediante análisis bibliométrico

Water pollution by heavy metals in a climate change context through bibliometric analysis

Humberto Álvarez Cabrera*
Universidad Nacional "Siglo XX"
La Paz - Bolivia
Universidad Técnica de Oruro
Oruro - Bolivia
halvarezc2002@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-3766-8585>

*Correspondencia:
halvarezc2002@gmail.com

Cómo citar este artículo:
Álvarez, H. (2025). Contaminación hídrica por metales pesados en un contexto de cambio climático mediante análisis bibliométrico. *Esprint Investigación*, 4(4), 59-72. <https://doi.org/10.61347/ei.v4i4.183>

Recibido: 2 de septiembre de 2025
Aceptado: 5 de octubre de 2025
Publicado: 11 de noviembre de 2025

Resumen: La contaminación hídrica por metales pesados en un contexto de cambio climático representa un problema ambiental de fundamental importancia en la actualidad. Los ríos y aguas subterráneas están siendo afectados por vertidos domésticos, mineros e industriales que introducen elementos tóxicos como cadmio, zinc, manganeso, mercurio y plomo, los cuales se acumulan en los ecosistemas acuáticos y agrícolas. Por otro lado, el cambio climático agrava esta situación al modificar los patrones de precipitación y temperatura, generando sequías e inundaciones que facilitan la movilización y concentración de metales pesados en el agua. En zonas mineras, las lluvias intensas arrastran residuos metálicos hacia los ríos, mientras que la escasez hídrica obliga a la reutilización de aguas contaminadas en la agricultura, afectando cultivos y suelos agrícolas. El uso de estas aguas contaminadas para riego o consumo humano provoca enfermedades crónicas como daños renales, alteraciones neurológicas, cáncer y problemas en el desarrollo infantil. Además, los metales pesados no se degradan, permanecen en el ambiente y se acumulan en la cadena alimentaria, generando impactos prolongados en la salud humana y los ecosistemas. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis bibliométrico sobre la producción científica relacionada con la contaminación hídrica por metales pesados en un contexto de cambio climático, con el fin de identificar las principales tendencias, enfoques temáticos y redes de colaboración en este campo de investigación.

Palabras clave: Cambio climático, contaminación, metales pesados, recursos hídricos.

Abstract: *Water pollution by heavy metals in the context of climate change represents an environmental issue of fundamental importance today. Rivers and groundwater are being affected by domestic, mining, and industrial discharges that introduce toxic elements such as cadmium, zinc, manganese, mercury, and lead, which accumulate in aquatic and agricultural ecosystems. Furthermore, climate change exacerbates this situation by altering precipitation and temperature patterns, generating droughts and floods that facilitate the mobilization and concentration of heavy metals in water. In mining areas, intense rainfall drags metallic residues into rivers, while water scarcity forces the reuse of contaminated water in agriculture, affecting crops and soils. The use of such polluted waters for irrigation or human consumption causes chronic diseases such as kidney damage, neurological disorders, cancer, and developmental problems in children. In addition, heavy metals do not degrade; they persist in the environment and accumulate in the food chain, generating long-term impacts on human health and ecosystems. The objective of this study was to conduct a bibliometric analysis of the scientific production related to water pollution by heavy metals in the context of climate change, in order to identify the main trends, thematic approaches, and collaboration networks in this field of research.*

Keywords: *Climate change, heavy metals, pollution, water resources.*

Copyright: Derechos de autor 2025
Humberto Álvarez Cabrera.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NonComercial 4.0.

1. Introducción

El cambio climático influye significativamente en los procesos de contaminación fluvial en zonas de explotación minera, siendo los eventos extremos de variación de temperatura y precipitación, los que favorecen la lixiviación y el arrastre de metales pesados hacia los cuerpos de agua. En esta dinámica, dichos metales tienden a sedimentarse en los lechos fluviales, incrementando los riesgos ambientales, ecológicos y sanitarios, y afectando gravemente la calidad de los recursos hídricos y los medios de vida circundantes (Iordache et al., 2022). La interacción entre el cambio climático y la contaminación minera es compleja y requiere un análisis con enfoque integral que fortalezca la gestión de los recursos hídricos y prevenga efectos irreversibles sobre la salud humana, la biodiversidad acuática y la seguridad alimentaria. Por tanto, es necesario establecer bases científicas que permitan diseñar políticas ambientales y estrategias resilientes (Motovilov & Fashchevskaya, 2021).

El cambio climático también genera un impacto importante en la agricultura, particularmente en la producción de maíz, debido a la toxicidad en las raíces de las plantas causada por el aumento de las precipitaciones y a las variaciones de temperatura. Bajo estas condiciones climáticas, el suelo se vuelve más ácido y facilita la movilidad de metales pesados peligrosos como el cadmio, el plomo y el arsénico. Al volverse más biodisponibles estos materiales son absorbidos por las raíces y afectan negativamente el crecimiento de la planta. Como resultado, la planta presenta dificultades para desarrollar raíces fuertes, realizar una fotosíntesis eficiente y absorber nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, los metales pueden acumularse en los granos, representando un riesgo para la salud humana y animal, y contribuyendo a la degradación progresiva de los ecosistemas agrícolas, lo que compromete la sostenibilidad de la seguridad alimentaria en las regiones afectadas (Nassar et al., 2025).

En la región de Asia Central, el lecho marino seco del Aral constituye un desierto salino antropogénico fuertemente influido por el cambio climático. Su fisiografía de reciente formación presenta suelos calcáreos y alcalinos, de textura franco-arenosa, susceptibles a procesos de deflación. Como consecuencia, la superficie del suelo se encuentra contaminada por metales pesados como cadmio (Cd), zinc (Zn), manganeso (Mn) y cobre (Cu), lo que provoca la degradación del aire, el suelo, el agua y la vegetación. Las principales fuentes de contaminación con cadmio se deben al uso excesivo de agroquímicos y a los vertidos residuales procedentes de complejos industriales y áreas urbanas. Asimismo, los contenidos elevados de cadmio, por encima de los niveles tolerables, tienden a asociarse con el zinc, generando un efecto sinérgico de contaminación en el medio ambiente (Issanova et al., 2022).

En relación con las liberaciones globales de mercurio (Hg) en el agua, se estima que cerca del 50% se produce en China e India, donde el Hg se drena hacia los océanos Pacífico Occidental e Índico Norte. De acuerdo con un inventario global de mercurio en agua dulce, las liberaciones de este metal en sistemas continentales podrían estar dominadas por la minería de oro artesanal y a pequeña escala, así como por descargas industriales entre ellas provenientes de fábricas de cemento y de aguas residuales generadas por laboratorios, clínicas y hospitales. Los cambios en las emisiones antropogénicas son continuos y se prevé que la aceleración del uso del suelo y el cambio climático tengan efectos significativos en los ciclos globales, regionales y locales del mercurio, generando retroalimentaciones inesperadas e impactos negativos (Obrist et al., 2018).

Los metales pesados, en su mayoría, se depositan en forma natural en la corteza terrestre, especialmente en el suelo y el agua en diferentes concentraciones. Estos ocasionan contaminación ambiental; no obstante, pueden liberarse por medio de procesos naturales y antrópicos a través de desechos de las actividades agrícolas, vertidos de residuos domésticos e industriales, así como de

aguas residuales procedentes de laboratorios, clínicas y hospitales (Mohammed et al., 2011). Por otra parte, en cuanto a los contaminantes orgánicos que constituyen fuente de metales pesados, pueden emplearse hongos bioasimiladores como el *Pleurotus*; sin embargo, los metales pesados son difíciles de eliminar, pues persisten en el ecosistema (Ibrahim et al., 2024).

Con respecto a la calidad de efluentes industriales y aguas residuales domésticas en Faisalabad (distrito de Pakistán), estas resultan altamente contaminantes, ya que contienen metales pesados como el plomo, cadmio y cromo; sin embargo, su uso para el riego agrícola es frecuente como medida para evitar la desertificación (Yamin et al., 2015). Asimismo, estudios efectuados en los efluentes industriales de Kot Lakhpat, Lahore, reportaron una mayor concentración de Cr, Cd, Fe, Pb y Zn, constituyendo indicadores de la presencia de metales pesados en altas concentraciones en las zonas donde se encuentran los establecimientos industriales (Sohail et al., 2021).

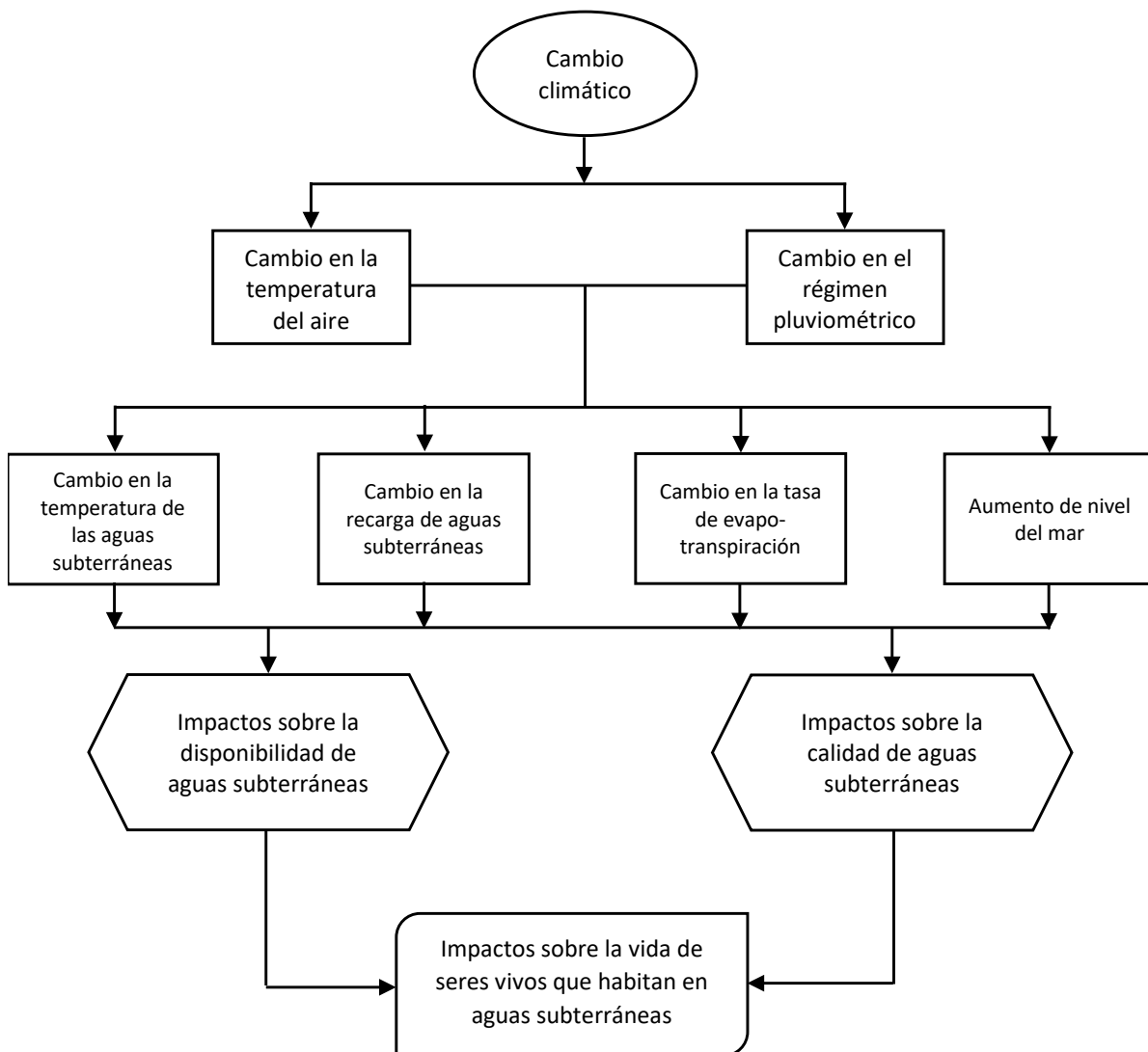
El cambio y la variabilidad climáticos influyen de manera significativa en la presencia de metales pesados en las aguas subterráneas de la India, principalmente en zonas carentes de vegetación y pobres en materia orgánica. Del mismo modo, los fenómenos extremos, como sequías e inundaciones afectan directamente la recarga de los acuíferos, un proceso que a menudo depende de oscilaciones atmosféricas globales como El Niño y La Niña (Taylor et al., 2013). Durante las sequías intensas, se reduce considerablemente el almacenamiento de aguas subterráneas, mientras que las lluvias fuertes, aunque contribuyen a su recarga, lo hacen de forma irregular y localizada, lo que puede generar contaminación microbiana en los acuíferos superficiales (Swain et al., 2022). La India presenta un elevado crecimiento demográfico y, a nivel mundial, es uno de los países que más utilizan aguas subterráneas, principalmente para el riego. Más de la mitad de su población urbana y cerca de cuatro quintas partes de su población rural utilizan aguas subterráneas para su consumo sin ningún tipo de tratamiento, pese a que dichas aguas están siendo contaminadas por los vertidos de aguas residuales procedentes de usos tanto domésticos como industriales (Swain et al., 2022).

En Pakistán las aguas residuales procedentes de vertidos domésticos e industriales se acumulan en masas de aguas superficiales y subterráneas, cuya tasa de tratamiento es inferior al 8% (Akhtar et al., 2018). Estas aguas residuales se vierten en los ríos (Ravi y Chenab), siendo esta la principal fuente de contaminación subterránea. Los agricultores utilizan las aguas residuales como alternativa a los recursos hídricos de los canales y, en el distrito de Faisalabad, cerca de mil hectáreas han sido regadas con aguas residuales en los últimos treinta años (Baig et al., 2011), mientras que los efectos del cambio climático han acentuado los procesos de contaminación hídrica y edáfica. En la figura 1 se puede observar el impacto del cambio climático en un sistema de agua subterráneo:

De acuerdo con los antecedentes expuestos, el problema de investigación identificado es el siguiente: ¿Cómo el análisis bibliométrico contribuye a la comprensión de la relación existente entre el grado de contaminación hídrica por metales pesados y el cambio climático? Para dar respuesta al problema de investigación se estableció el objetivo general: Realizar un análisis bibliométrico sobre investigaciones y publicaciones relacionadas con la contaminación hídrica por metales pesados en un contexto de cambio climático, a partir de la base de datos indexada de Scopus. Asimismo, se plantearon los siguientes objetivos específicos: determinar la producción científica anual y la producción científica por países, explicar la productividad por tipo de institución, establecer las aportaciones más citadas, así como el impacto de las revistas con mayor publicación, señalar la relación con otras temáticas y las principales tendencias de investigación.

Figura 1

Diagrama conceptual del impacto del cambio climático en un sistema de agua subterránea



Nota. Adaptado de "Impact of climate change on groundwater hydrology: a comprehensive review and current status of the Indian hydrogeology" (p. 2), por Swain et al., 2022, Applied Water Science, 3 (17).

2. Metodología

El estudio se sustentó en el método descriptivo de análisis bibliométrico de la producción científica relacionada con la contaminación hídrica por metales pesados en un contexto de cambio climático. Según Pritchard (1969), citado por Cuevas-Molano et al. (2019), el concepto de bibliometría se definió como: "la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos a los libros y los medios de comunicación" (p. 348). Se llevó a cabo un estudio de artículos científicos publicados recientemente, y otros con mayor frecuencia en la base de datos Scopus. Esta base de datos fue seleccionada debido a su confiabilidad y alto rigor científico. La selección e identificación de los artículos relativos al estudio se realizaron en el mes de julio de 2025, considerándose publicaciones comprendidas entre los años 2017 y 2025, principalmente en idioma inglés, aunque también se incluyeron artículos en español, caracterizados como investigaciones originales.

La estrategia de búsqueda se estructuró en dos etapas: identificación y revisión. En la etapa de identificación, se efectuó la búsqueda utilizando descriptores y palabras clave como "heavy metals" y

“climate change” en la base de datos Scopus, obteniéndose un total de 101 documentos, de los cuales se filtraron 19 artículos científicos. En la etapa de revisión, se consideró que los artículos contaran con el formato PDF/A estándar, requisito necesario para realizar la investigación. Para el análisis de datos, se utilizaron las métricas de Scopus a nivel de revistas, artículos y autores; además, se emplearon los softwares VOSviewer, para la creación de mapas bibliométricos, y Bibliometrix, que permitieron realizar un análisis integral basado en indicadores de pertinencia con el tema estudiado. En la tabla 1 se evidencia la descripción de los parámetros de identificación y los criterios de búsqueda de información utilizados en el estudio. Los parámetros de identificación para la búsqueda de información fueron los siguientes:

Tabla 1*Parámetros de identificación y criterios de búsqueda de información*

Base de datos	Scopus
Idioma	Inglés, español
Período de análisis	2017 – 2025 (definido por la base de datos)
Fecha de consulta	11 y 12 de julio de 2025
Tipos de documentos	Artículos científicos
Tipo de revista	Cualquiera
Campo y término de búsqueda	TITLE (heavy metals AND climate change)
Resultado total	101
	Indicadores de cantidad:
	- Producción científica anual
	- Producción científica por países,
	- Productividad por tipo de institución
Parámetro de análisis/indicadores Bibliométricos	Indicadores de impacto:
	- Aportaciones más citadas
	- Factor de impacto de las revistas con mayor publicación
	Indicadores de calidad:
	- Palabras clave y relación con otras temáticas,
	- Principales corrientes o tendencias de investigación (mapa temático)

Nota. Adaptado de “El emprendimiento turístico rural y sus tendencias a través de un análisis Bibliométrico” (p. 76), por Quispe et al., 2024, Cuadernos de turismo, 1 (53).

3. Resultados

La producción científica de nuevos conocimientos es el principal aporte de la universidad al desarrollo integral de una nación. La investigación constituye la fuente de solución de problemas reales; sin embargo, las soluciones nunca ocurrirán si no se difunden y se publican los resultados de una investigación, de ahí la frase: “lo que no se publica, no existe”, por ello, la publicación, como parte de la comunicación científica y académica, constituye un elemento clave de obligación ética y moral de todo investigador (Auza-Santiváñez et al., 2020).

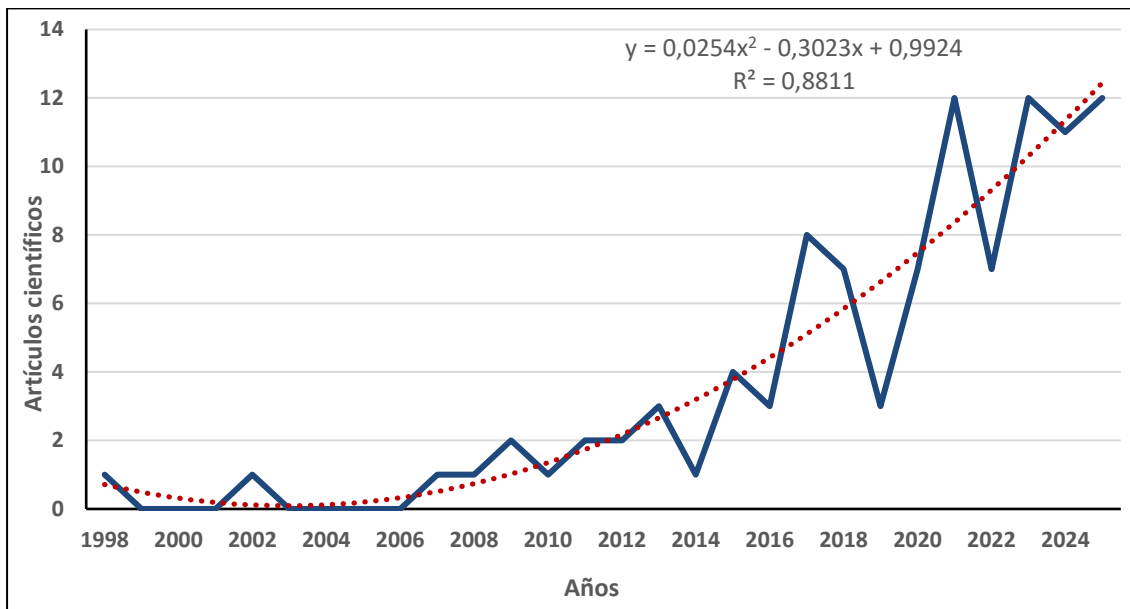
La figura 2 muestra que la producción científica anual sobre el impacto del cambio climático en la contaminación hídrica superficial y subterránea a nivel mundial describe un comportamiento

polinómico cuadrático creciente entre 1998 y 2025, cuya bondad de ajuste R^2 de 0,88 es muy bueno. En el periodo 1998 - 2008, la actividad investigativa fue incipiente, representando solo el 3,96% del total de publicaciones, con estudios centrados principalmente en la identificación de fuentes de contaminación y los primeros indicios del cambio climático en ecosistemas acuáticos (López, 2020).

Posteriormente, entre 2009 y 2018, se produjo un notable incremento hasta el 32,67%, impulsado por la mayor preocupación global por el cambio climático y el desarrollo de nuevas metodologías analíticas y modelos predictivos. Desde 2019 hasta 2025, la producción alcanzó el 63,37%, consolidándose como una de las áreas de mayor interés científico. En esta etapa, las investigaciones se caracterizan por un enfoque interdisciplinario que integra hidrología, edafología, medio ambiente y políticas de mitigación, orientadas a comprender la movilidad, acumulación y riesgo de los metales pesados bajo escenarios climáticos extremos (Auza-Santiváñez et al., 2020).

Figura 2

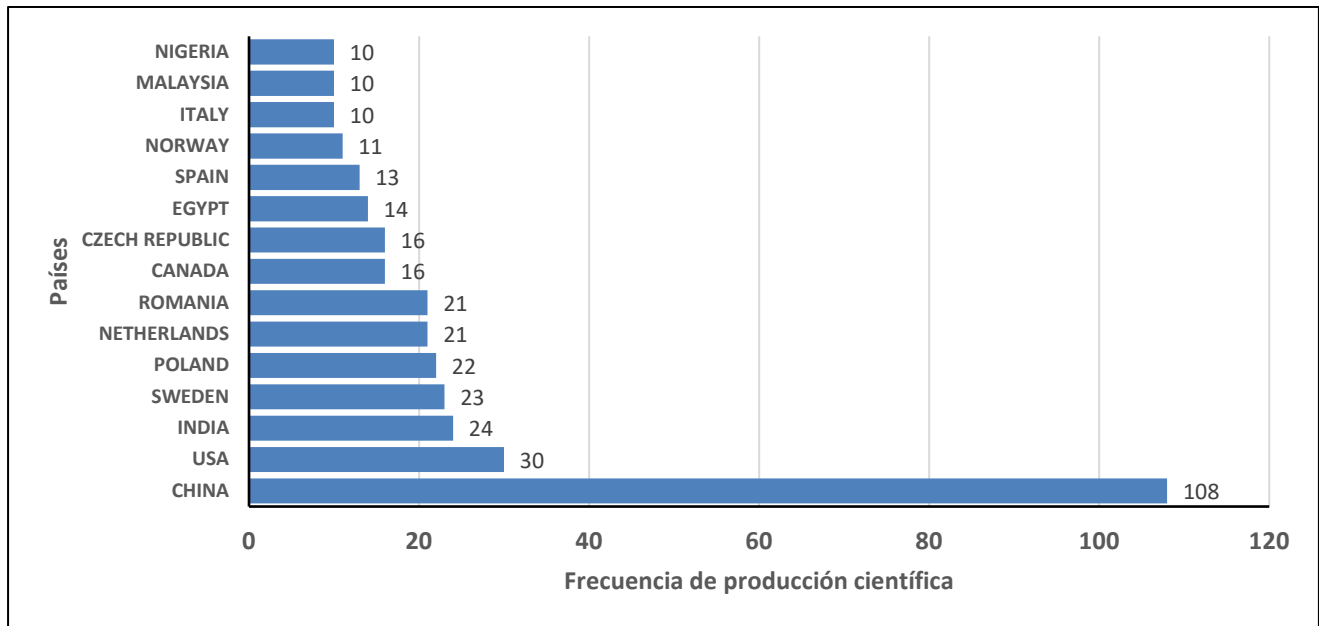
Producción anual de artículos científicos



En la figura 3 se puede observar la producción de artículos científicos por países, donde se muestra una marcada participación de China que lidera ampliamente con 108 publicaciones, consolidándose como el principal productor mundial. Le siguen, aunque con una diferencia considerable, Estados Unidos con 30 artículos e India con 24, evidenciando también una fuerte presencia en la generación de conocimiento. En un rango intermedio se ubican Suecia (23), Polonia (22), Países Bajos (21) y Rumania (21), países europeos con una actividad científica constante. Con una producción moderada destacan Canadá y República Checa con 16 artículos cada uno, seguidos por Egipto (14) y España (13). Finalmente, con niveles similares de contribución se encuentran Noruega (11), Italia (10), Malasia (10) y Nigeria (10). En conjunto, los datos reflejan un liderazgo asiático y europeo en la producción científica, con China como actor dominante y una participación relevante de países emergentes en el ámbito académico global (Reyes et al., 2024).

Figura 3

Producción científica por países por año



Nota. Elaboración propia en base a datos Scopus (2025)

De la misma forma, Latinoamérica por su diversidad biológica y cultural, tiene la capacidad para la producción científica mundial. El hecho de poseer ecosistemas únicos, como la Amazonía y los Andes, ofrece oportunidades para la investigación en áreas como la biodiversidad, la ecología y la conservación. Países como Brasil, Argentina, Chile, México y Colombia realizan contribuciones significativas en campos como la biotecnología, las energías renovables, la astronomía y las ciencias de la salud. De esta manera, Brasil encabeza las investigaciones agrícolas y en biocombustibles en la región, mientras que Chile sobresale en la investigación de astronomía por sus observatorios de clase mundial en el desierto de Atacama. Argentina, por su parte, se destaca en biotecnología y desarrollo de vacunas, mientras que Colombia realiza aportes significativos en estudios sobre biodiversidad y cambio climático (Ricardo-Jiménez et al., 2025). La figura 4 muestra el mapa de variables incidentes, donde se observan las interconexiones entre las variables analizadas, destacando aquellas con mayor influencia dentro del sistema de estudio.

La presencia de metales pesados como cromo, níquel, cadmio, zinc, arsénico, manganeso y mercurio en el ambiente representa una de las principales amenazas a los ecosistemas y la salud humana. Estos metales se generan principalmente por actividades industriales, mineras, agrícolas y urbanas, acumulándose en el suelo, así como en las aguas superficiales y subterráneas, lo que altera su calidad y afectando la biota acuática y terrestre. El cambio climático modifica los patrones de precipitación, temperatura y escorrentía, lo que favorece la movilización y redistribución de los contaminantes (Loyde de la Cruz et al., 2022). Las inundaciones facilitan el transporte de metales desde las zonas industriales hacia los cuerpos de agua, mientras que las sequías aumentan su concentración en suelos y acuíferos. El aumento de la temperatura y la acidez del agua modifica la solubilidad y la biodisponibilidad de estos elementos, incrementando su toxicidad (Pabón et al., 2020). La figura 4 muestra el mapa de variables incidentes.

Figura 4

Mapa de variables incidentes



Nota. Los datos fueron extraídos de la base de datos Scopus, generados con Bibliometrix (2025)

La figura 5 muestra las relaciones conceptuales entre las palabras clave de los artículos científicos analizados, en el cual el tamaño del nodo es relevante, pues representa la frecuencia de aparición, y los clústeres de colores agrupan las palabras que pertenecen a una misma línea de investigación. Así, el clúster rojo refleja la temática del cambio climático y la contaminación hídrica, siendo las palabras clave principales: climate change, heavy metals, water quality, water pollution, concentration (composition), sediments, lakes, eutrophication y surface waters. Este grupo de palabras clave indica investigaciones centradas en el impacto del cambio climático sobre los ecosistemas acuáticos, especialmente en la contaminación hídrica por metales pesados. Se observa una fuerte interrelación entre la calidad del agua, los procesos de sedimentación, los efectos antropogénicos y la modelación hidrológica. Asimismo, China aparece como país asociado, lo que sugiere una producción científica significativa en esta línea de investigación.

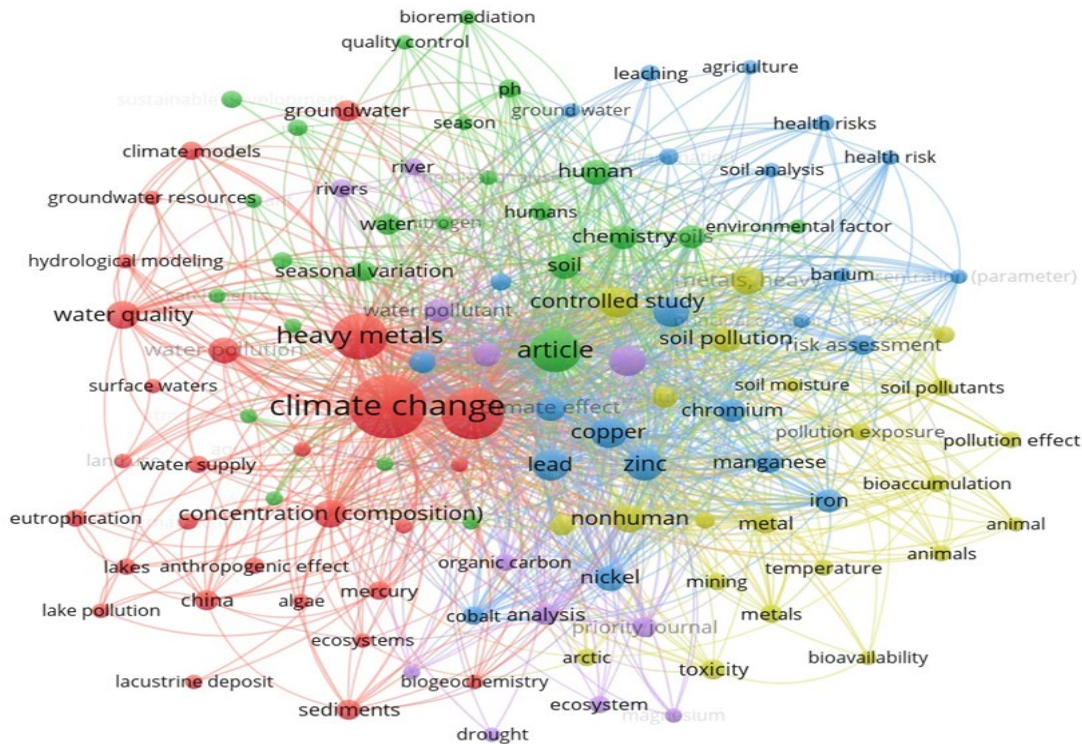
El clúster verde refleja la temática de aguas subterráneas, mostrando palabras clave: groundwater, bioremediation, quality control, ph, river, seasonal variation, hydrological development. Este grupo aborda la dinámica de las aguas subterráneas y superficiales en relación con factores biogeoquímicos como el pH y la variación estacional; además, incorpora conceptos de remediación ambiental y control de la calidad del agua. Por su parte, el clúster azul representa una temática relacionada con la contaminación del suelo y los riesgos para la salud, mostrando las palabras clave: soil pollution, soil analysis, chromium, copper, zinc, manganese, iron, health risks y risk assessment. Este grupo se enfoca en la contaminación del suelo por metales pesados y su relación con los riesgos para la salud humana y ambiental.

El clúster amarillo se centra en la temática de toxicidad de los metales, mostrando las palabras clave: toxicity, bioavailability, animal, bioaccumulation, pollution exposure, nickel, magnesium. Este grupo representa estudios de toxicología ambiental enfocados en cómo los metales pesados afectan a los organismos vivos y a los ecosistemas. Finalmente, el clúster violeta aborda la temática de ecosistemas y efectos climáticos extremos, mostrando las palabras clave: ecosystem, drought, arctic y biogeochemistry. Este grupo incluye estudios sobre los efectos del cambio climático en ecosistemas

específicos, con atención a la disponibilidad de metales pesados bajo condiciones extremas de temperatura y humedad.

Figura 5

Mapa de análisis factorial



Nota. La información fue extraída de la base de datos de Scopus (2025) y generada por VOSviewer.

También es importante destacar los artículos científicos más citados a nivel mundial por año, ya que permiten identificar los avances más relevantes en la producción de conocimiento científico. Las citas evidencian el impacto académico y social de una investigación, mostrando cuántas veces otros científicos la han consultado; por tanto, este análisis facilita la identificación de tendencias globales en temas prioritarios de investigación. Los artículos más citados benefician enormemente a la comunidad científica, pues fortalecen el intercambio, la validación y la acumulación del conocimiento. En el caso de los estudios publicados en *AMBIO* (632 citas), *Food and Chemical Toxicology* (462) o *Marine Pollution Bulletin* (337), su alta cantidad de citas indica que han tenido un impacto significativo en sus respectivas áreas, sirviendo como base para nuevas investigaciones.

Las publicaciones citadas con frecuencia orientan otros estudios mediante redes de conocimiento en torno a problemas globales, como la contaminación ambiental o el cambio climático. Además, constituyen una medida de reconocimiento académico que fortalece la credibilidad de los autores y de las instituciones en las que trabajan. Cuando un artículo es citado, demuestra que su contenido fue útil, replicable y relevante para la comunidad científica (Pabón et al., 2020). A continuación, en la tabla 2, se presentan los documentos con mayor número de citas, los cuales reflejan el impacto e influencia de las investigaciones más relevantes dentro del campo de estudio.

Tabla 2*Documentos más citados a nivel mundial*

Base de datos	DOI de la publicación	Total de citaciones (TC)	TC por año	TC Normalizado
CAMBIO	10.1007/s13280-017-1004-9	632	79,00	5,95
FOOD CHEM. TOXICOL.	10.1016/j.fct.2009.02.005	462	27,18	1,96
MAR. POLLUT. BULL.	10.1016/j.marpolbul.2007.09.020	337	17,74	1,00
EARTH PLANET. SCI. LETT.	10.1016/S0012-821X(02)00553-8	170	7,08	1,00
APPL. WATER SCI.	10.1007/s13201-022-01652-0	128	32,00	2,85
CHEMOSPHERE	10.1016/j.chemosphere.2021.133474	111	27,75	2,47
FRONT. PLANT SCI.	10.3389/fpls.2017.02051	102	11,33	2,63
WATER AIR SOIL POLLUT.	10.1007/s11270-024-07702-4	80	80,00	11,29
SCI. TOTAL. ENVIRON.	10.1016/j.scitotenv.2017.04.041	78	8,67	2,01
ECOL. INDIC.	10.1016/j.ecolind.2018.05.059	69	8,63	0,65
SCI. TOTAL. ENVIRON.-a	10.1016/j.scitotenv.2019.135560	66	11	2,2
WATER AIR SOIL POLLUT.	10.1007/s11270-017-3261-4	61	6,78	1,57
QUAT. SCI. REV.	10.1016/j.quascirev.2012.06.003	59	4,54	1,72
J. WATER CLIM. CHANG.	10.2166/wcc.2019.047	56	9,33	1,87
GLOB. CHANG. BIOL.	10.1111/j.1365-2486.2008.01632.x	49	2,72	1
GONDWANA RES.	10.1016/j.gr.2024.01.013	47	23,5	4,66
J. HAZARD. MATER.	10.1016/j.jhazmat.2021.126193	41	8,2	2,13
NPJ CLEAN WATER	10.1038/s41545-021-00147-w	38	9,5	0,85
POL. J. ENVIRON. STUD.	10.15244/pjoes/134292	37	7,4	1,92
INT. J. EARTH SCI.	10.1007/s00531-012-0838-4	37	2,85	1,08

Nota. Datos obtenidos de la base de datos de Scopus y generado en Bibliometrix (2025)

4. Discusión

La producción científica se define como la evidencia del conocimiento científico generado, la cual permite visibilizar las investigaciones y refleja la actividad académica y científica de un investigador, expresada en publicaciones que involucran a una institución o grupo social. Esto contribuye al desarrollo del conocimiento y a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de un país (Piedra-Salomón & Martínez-Rodríguez, 2007). Por tanto, la producción de artículos científicos se evalúa mediante el número de publicaciones y su impacto en la sociedad, además de permitir medir la actividad investigadora de un autor, institución o país, mostrando su capacidad para generar nuevo conocimiento científico.

Por otro lado, el impacto, evaluado a través de las citas que recibe un artículo, refleja la relevancia y utilidad de esos conocimientos para otros investigadores y, en última instancia, para la sociedad. Cuando un trabajo es citado con frecuencia, se infiere que sus resultados han contribuido significativamente al avance científico o a aplicaciones prácticas (Livia et al., 2011). Muchas actividades socioeconómicas, urbanas e industriales generan grandes volúmenes de desechos sólidos, líquidos y gaseosos que ingresan a diversos ecosistemas, degradando la calidad ambiental; por tanto, se consideran fuentes de contaminación (Chen et al., 2019).

La contaminación del suelo puede producirse como resultado de procesos naturales o de la actividad antropogénica; sin embargo, esta última aporta una mayor cantidad de metales al suelo (Pabón, 2021). Los materiales de desecho emitidos por operaciones industriales como la minería, la fundición, la metalurgia y las actividades agrícolas que emplean aguas residuales para el riego, así como el uso irracional de fertilizantes en la agricultura y la ganadería, han provocado contaminación por metales pesados en las tierras cultivadas (Loyde de la Cruz et al., 2022). En cuanto a la contaminación del agua, los metales pesados predominan entre los desechos industriales vertidos principalmente en los ríos, sin tratamientos adecuados ni procesos de recuperación pertinentes, lo que provoca efectos negativos en la toxicidad del agua, la eutrofización y la destrucción de la vida acuática (Chen et al., 2019).

Respecto al cambio climático, puede señalarse que influye de manera significativa en la contaminación de los recursos hídricos por metales pesados, debido a las alteraciones que genera en los procesos físicos, químicos y biológicos de los ecosistemas naturales. Cuando las temperaturas aumentan, tienden a modificar la solubilidad de los metales pesados, facilitando su liberación desde los sedimentos hacia el agua. Asimismo, las inundaciones promueven el transporte de contaminantes hacia los acuíferos, mientras que las sequías reducen el caudal de los cuerpos de agua, concentrando los contaminantes disueltos y agravando su efecto tóxico (Gonzales et al., 2014).

5. Conclusiones

El análisis bibliométrico demostró ser una herramienta eficaz para evaluar las tendencias y enfoques temáticos de la investigación sobre la contaminación hídrica por metales pesados en un contexto de cambio climático, ya que permitió identificar las principales áreas de estudio y las redes de colaboración científica. La producción científica mundial evidenció un crecimiento notable y acelerado entre 1998 y 2025, ajustándose a una tendencia polinómica cuadrática creciente, lo que demuestra un incremento sostenido del interés académico y de la preocupación global por los impactos ambientales asociados a los metales pesados.

En la distribución geográfica de la producción científica, China ocupa una posición de liderazgo, seguida por Estados Unidos e India, países que concentran los mayores esfuerzos de investigación y

desarrollo tecnológico orientados al monitoreo y la mitigación de la contaminación por metales pesados en los recursos hídricos. El análisis de las publicaciones destacó la relevancia de las aguas residuales domésticas e industriales como una de las principales fuentes de contaminación hídrica y ambiental, debido al vertido de compuestos metálicos persistentes que deterioran la calidad del agua y afectan tanto a los ecosistemas como a la salud humana.

La aplicación del método de clúster permitió una organización estructurada de las variables analizadas, diferenciando cinco líneas temáticas representadas por colores: rojo (contaminación hídrica), verde (contaminación de aguas subterráneas), azul (contaminación de suelos), amarillo (toxicidad por metales pesados) y violeta (cambio climático), lo que facilitó la interpretación visual y conceptual de las relaciones entre los tópicos de investigación. Los documentos más citados evidenciaron un alto impacto en la comunidad científica, al consolidar bases teóricas y metodológicas sobre la interacción entre el cambio climático, la dinámica de los metales pesados y la gestión ambiental, contribuyendo de manera significativa al avance del conocimiento global. En conjunto, los resultados del análisis bibliométrico reflejan una creciente conciencia científica y social sobre la necesidad de abordar la contaminación hídrica por metales pesados desde un enfoque multidisciplinario, considerando sus interacciones con el cambio climático y promoviendo políticas ambientales sostenibles basadas en evidencia científica.

Referencias

- Akhtar, S., Ahmad, S., Huifang, W., Shahbaz A., Ghafoor A., Imran S., & Zafar A. (2018). An analysis of wastewater irrigation practices and its impacts on the livelihood generation and food chain contamination in Faisalabad District, Pakistan. *ISABB Journal of Health and Environmental Sciences*, 5(4), 33-42. <https://doi.org/10.5897/ISAAB-JHE2018.0045>
- Auza-Santiváñez, J., Santiváñez-Cabezas, M., & Dorta-Contreras, A. (2020). Análisis de la producción científica y la colaboración internacional boliviana indexada en Scopus entre 1996-2018. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 39(3), 1-17. <https://is.gd/CRxwJF>
- Baig, I., Ashfaq M., Hassan I., Javed M., Khurshid W., & Ali A. (2011). Economic impact of waste water irrigation in Punjab, Pakistan. *Journal of Agricultural Research*, 49(2), 5-14. <https://is.gd/B9kjC5>
- Chen, M., Li, F., Tao, M., Hu, L., Shi, Y., & Liu, Y. (2019). Distribution and ecological risks of heavy metals in river sediments and overlying water in typical mining areas of China. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 893-899. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.029>
- Cuevas-Molano, E., Sánchez, M., & Matosas-López, L. (2019). Análisis bibliométrico de estudios sobre la estrategia de contenidos de marca en los medios sociales. *Comunicación y sociedad*, e7441. <https://doi.org/10.32870/cys.v2019i0.7441>
- Gonzales, G., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K., y Steenland, K. (2014). Environmental pollution, climate variability and climate change: a review of health impacts on the peruvian population. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 31(3), 547-556. <https://doi.org/10.17843/rpmpes.2014.313.94>
- Ibrahim, A., Salem, H., & Abdelhalim, A. (2024). Environmental implications of three *Pleurotus* strain growths for water remediation in the perspective of climate change in New Egyptian Delta. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(15), 22588–22603. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32412-z>

- Iordache, A., Nechita, C., Pluháček, T., Schug, K., & Voica, C. (2022). Climate change extreme and seasonal toxic metal occurrence in Romanian freshwaters in the last two decades—case study and critical review. *npj Clean Water*, 5, 2. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00147-w>
- Issanova, G., Abuduwaili, J., Tynybayeva, K., Kalybayeva, A., Kaldybayev, A., Tanirbergenov, S., & Ge, Y. (2022). Assessment of the Soil Cover in the Dried Aral Seabed in Kazakhstan and Climate Change in the Region. *Water, Air, and Soil Pollution*, 233(12), Article 525. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05966-2>
- Ricardo-Jiménez, S., Bueno-Fernández, M., Herreño-Munera, M., & Mejía-Ríos, J. (2025). La producción científica en Latinoamérica: Logros, desafíos y oportunidades. *CIENCIAMATRIA. Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*, 11(20), 79-103. <https://doi.org/10.35381/cm.v11i20.1536>
- Livia, J., Merino-Soto, C., & Livia-Ortiz, R. (2022). Producción científica en la base de datos Scopus de una Universidad privada del Perú. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 16(1), e1500. <https://is.gd/tbaIDF>
- López, S. (2020). Hacia la producción científica sin fronteras. *Derecho global. Estudios sobre derecho y justicia*, 5(14), 11-13. <https://is.gd/5PUXaj>
- Loyde de la Cruz, L., González, B., Cruz, A., & Loredó, R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *Epistemus (Sonora)*, 16(33), 93-98. <https://is.gd/6oZI1a>
- Quispe, G., Jurado, J., & Nina, D. (2024). El emprendimiento turístico rural y sus tendencias a través de un análisis bibliométrico. *Cuadernos de Turismo*, 53, 69–93. <https://doi.org/10.6018/turismo.616391>
- Mohammed, A., Kapri A., & Goel, R. (2011) Heavy Metal Pollution: Source, Impact, and Remedies. *Biomangement of Metal-Contaminated Soils*, 20, 1. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1914-9_1
- Motovilov, Y., & Fashchevskaya, T. (2021). Modeling Management and Climate Change Impacts on Water Pollution by Heavy Metals in the Nizhnekamskoe Reservoir Watershed. *Water*, 13(22), 3214. <https://doi.org/10.3390/w13223214>
- Nassar, F., Abbas, A., & Elshekh, M. (2025). Analyzing the Impact of Climate Change on Maize Production to Develop Innovative Strategies for Ensuring Global Food Security. *Journal of Environmental and Earth Sciences*, 7(2), 198–210. <https://doi.org/10.30564/jees.v7i2.8207>
- Obrist, D., Kirk, J., Zhang, L., Sunderland, E., Jiskra, M., & Selin, N. (2018). A review of global environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: Changes of emissions, climate, and land use. *Ambio*, 47(2), 116–140. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1004-9>
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria-Villa, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://is.gd/KBHI96>
- Piedra-Salomón, Y. & Martínez-Rodríguez, A. (2007). Producción científica. *Ciencias de la Información*, 38(3), 33-38. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5133641>
- Reyes, G., Lanzarini, L., Estrebou, C., & Bariviera, A. (2024, abril 1). *Un análisis bibliométrico de la producción científica acerca del agrupamiento de trayectorias GPS*. *arXiv e-prints*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.17761>

- Sohail, M., Lin, X., Lizhi, L., Rizwanullah, M., Nasrullah, M., Xiuyuan, Y., Manzoor, Z., & Elis, R. J. (2021). Farmers' Awareness about Impacts of Reusing Wastewater, Risk Perception and Adaptation to Climate Change in Faisalabad District, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(5), 4663–4675. <https://doi.org/10.15244/pjoes/134292>
- Swain, S., Taloor, A., Dhal, L., Sahoo, S., & Al-Ansari, N. (2022). Impact of climate change on groundwater hydrology: a comprehensive review and current status of the Indian hydrogeology. *Applied Water Science*, 12(6), 120. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01652-0>
- Taylor, R., Scanlon, B., Doll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., Longuevergne L., Leblanc M., Famiglietti J., Edmunds M., & Konikow, L. (2013a). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4), 322–329. <https://is.gd/3mGVlr>
- Yamin, M., Nasir, A., Sultan, M., Ismail, W, Shamshiri R., & Akbar F. (2015). Impact of Sewage and Industrial Effluents on Water Quality in Faisalabad, Pakistan. *Advances in Environmental Biology*, 9 (18), 53-59. <https://is.gd/MnfubI>

Transparencia

Conflicto de interés

El autor declara que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

El autor financia completamente la investigación.

Contribución de autoría

Humberto Álvarez Cabrera: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

El autor contribuye activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.