

ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EN SISTEMAS HÍDRICOS DE COTOPAXI: REVISIÓN DE ALCANCE

POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN COTOPAXI WATER SYSTEMS: A SCOPING REVIEW

Marco Antonio Riofrío Guevara¹, Abrahan Rafael Mora Polanco², Judith Rosales³, Johanna Stefany Riofrío Pacheco⁴

{marco.riofrio2916@utc.edu.ec¹, abrahammora@tec.mx², judith.rosales@uog.edu.gy³, stefany.riofrio.pacheco@outlook.es⁴}

Fecha de recepción: 14/08/2026 / Fecha de aceptación: 08/10/2026 / Fecha de publicación: 14/10/2026

RESUMEN: Los recursos hídricos de Cotopaxi, Ecuador, se localizan en un ambiente volcánico donde los aportes geogénicos pueden superponerse con presiones agrícolas, urbanas e industriales. El objetivo fue mapear la evidencia científica y técnica publicada entre 2021 y 2025 sobre elementos potencialmente tóxicos en las principales fuentes hídricas de la provincia. Se realizó una revisión de alcance estructurada con el marco PCC, la guía JBI y PRISMA-ScR. La búsqueda documental incluyó Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect y Google Scholar. El corpus final comprendió 40 fuentes de evidencia y 68 relaciones estudio - sistema -elemento; las concentraciones se sintetizaron descriptivamente sin metaanálisis. Predominaron las tesis de pregrado (n = 29; 72.5 %), seguidas de artículos (n = 10; 25.0 %) y tesis de posgrado (n = 1; 2.5 %). Pumacunchi fue el sistema más estudiado (n = 25), seguido por Cutuchi (n = 17) y el canal Latacunga–Salcedo–Ambato (n = 3). El arsénico dominó la evidencia (n = 33), seguido por Pb, Cd, Cr y B. La matriz contenía 40 registros numéricos de concentración y mostró un núcleo de evidencia centrado en arsénico en Pumacunchi y un patrón más multimetálico en Cutuchi.

Palabras clave: *calidad del agua, contaminación del agua, química del agua, análisis del agua, riego, agua superficial, agua subterránea, gestión de los recursos hídricos*

ABSTRACT: The water resources of Cotopaxi, Ecuador, are located in a volcanic environment where geogenic inputs may overlap with agricultural, urban, and industrial pressures. The objective was to map the scientific and technical evidence published between 2021 and 2025 on potentially toxic elements in the province's main water sources. A structured systematic review was conducted using the PCC framework, the JBI guidelines, and PRISMA-ScR. The documented search included Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar. The final corpus comprised 40 sources of evidence and 68 study-system-element relationships; concentrations were synthesized descriptively without meta-analysis. Undergraduate theses predominated (n = 29; 72.5%), followed by articles (n = 10; 25.0%) and graduate theses (n = 1; 2.5%). Pumacunchi was the most studied system (n = 25), followed by Cutuchi (n = 17) and the Latacunga–Salcedo–Ambato canal (n

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-8916-9656>

²Tecnológico de Monterrey, Puebla, México, <https://orcid.org/0000-0002-9132-5622>

³Universidad Experimental de Guyana, Puerto Ordaz, Venezuela, <https://orcid.org/0000-0003-4674-565X>

⁴ESPE, Latacunga, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0008-7746-6438>

= 3). Arsenic dominated the evidence (n = 33), followed by Pb, Cd, Cr, and B. The dataset contained 40 numerical concentration records and showed a core of evidence centered on arsenic in Pumacunchi and a more multimetallic pattern in Cutuchi.

Keywords: water quality, water pollution, water chemistry, water analysis, irrigation, surface water, groundwater, water resources management

INTRODUCCIÓN

Aportes hidrotermales en regiones volcánicas andinas (1) combinados con descargas residenciales urbanas y actividades industriales (2) en los sistemas hídricos pueden desencadenar la presencia de elementos traza potencialmente tóxicos (3), donde la descomposición mineral de la litología: los sedimentos de cenizas (4) y material volcanoclástico de erupciones pasadas (5) (6), constituyen una prominente fuente de elementos nocivos debido a que las sales y compuestos químicos de estas partículas son movilizados por lixiviación, erosión o escorrentía a los cuerpos de agua superficiales o aguas subterráneas cercanas (7).

En ambientes volcánico geotérmicos, el arsénico puede movilizarse desde minerales y fluidos geotérmicos hacia aguas superficiales y subterráneas. Su comportamiento depende, entre otros factores, de mineralogía, pH, temperatura y procesos de adsorción-desorción (8) (9). Distinguir aportes geogénicos y antropogénicos exige integrar hidroquímica, trazadores y contexto territorial (10) (11).

Este enfoque se justifica ya que Cotopaxi reúne condiciones como: agricultura intensiva, centros urbanos, redes de riego, sistemas volcánicos activos y cabeceras de cuenca (12) (13). Estudios locales han documentado arsénico en fuentes geotérmicas en el centro del país (14), contaminación multimetálica en ríos de Cotopaxi y Tungurahua (15), remoción de arsénico mediante islas flotantes con vetiver (13) (16) (17) y evaluaciones de calidad de agua en la cuenca del Cutuchi (18).

La problemática también tiene una dimensión agrícola. El uso de agua de riego con calidad comprometida puede favorecer la acumulación de elementos en suelo y vegetales, y ampliar las rutas de exposición a través de alimentos (19). La transferencia depende de propiedades del suelo, forma química del elemento, cultivo, duración de la exposición y características del agua (20) (21). Por ello, la evaluación ambiental requiere conectar la calidad del agua con el uso del recurso y las matrices receptoras (22).

La evidencia documental disponible en Cotopaxi es heterogénea y está dispersa entre artículos científicos y literatura académica local. Esa amplitud se ajusta al propósito de una revisión de alcance, cuyo objetivo es mapear la extensión y naturaleza de la provincia, describir tipos de fuentes e identificar vacíos de conocimiento, más que estimar un efecto agregado (23).

El objetivo de esta revisión de alcance fue mapear la evidencia científica y técnica publicada entre 2021 y 2025 sobre elementos potencialmente tóxicos en sistemas hídricos de Cotopaxi, con énfasis en la distribución temporal y documental de la investigación, los sistemas y

elementos y concentraciones registradas, los ejes temáticos y los vacíos relevantes para el monitoreo y la gestión de los recursos hídricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño, pregunta de revisión y marco PCC (Población, Concepto, Contexto)

El presente trabajo de síntesis documental se estructuró como revisión de alcance o más conocida como scoping review, debido a que la pregunta pretende delimitar un campo diverso para caracterizar y mapear en función de los recursos hídricos, elementos contaminantes, tipos de fuente científica documental y aspectos ambientales. Mediante las directrices metodológicas propuestas por Joanna Briggs Institute (JBI) para revisión de alcance (23) y en base a la estructura PRISMA (24) para el proceso de identificación, selección, extracción y síntesis de datos se realizó el documento final.

Al estructurar la investigación de esta manera se garantiza identificar las características, extensión, distribución y los principales vacíos de los documentos actuales disponibles, resaltando la técnica exploratoria y cartográfica.

La pregunta principal de la revisión fue: ¿Entre los años 2021 y 2025 qué evidencia científica y técnica publicada caracteriza la presencia, distribución, fuentes, consecuencias y remediación de elementos potencialmente tóxicos en fuentes hídricas de la provincia de Cotopaxi?. El marco PCC utilizado para delimitarla se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Marco PCC utilizado para delimitar la revisión de alcance.

Componente	Definición operativa	Aplicación en la revisión
Población	Fuentes hídricas y recursos vinculados al agua	Ríos, afluentes, fuentes de agua subterránea, canales de riego Concentración de As, Pb, Cd, Cr y B; Calidad del agua;
Concepto	Elementos nocivos o tóxicos y procesos asociados	Hidrogeoquímica; Exposición; Remediación ; Monitoreo. Entorno volcánico andino,
Contexto	Provincia de Cotopaxi, Ecuador	Latacunga, Salcedo, Pujilí, Cotopaxi

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Desde febrero de 2025 a diciembre de 2025 se realizó la búsqueda documental en fuentes científicas digitales como: Scopus, PubMed, ScienceDirect, Web of Science y Google Scholar. Para la búsqueda secuencial se usaron palabras claves en español e inglés que tengan relación con Cotopaxi, elementos contaminantes tóxicos, fuentes hídricas, riesgos ambientales, geología volcánica .

Un ejemplo de búsqueda fue: ("heavy metals" OR "metales pesados" OR "potentially toxic elements" OR "toxic metals" OR "metales tóxicos" OR As OR Cd OR Pb OR Cr OR B) AND ("water contamination" OR "contaminación hídrica" OR "water pollution" OR "calidad del agua") AND ("water sources" OR "rivers" OR "groundwater" OR "fuentes hídricas" OR "ríos" OR "agua subterránea") AND ("Cotopaxi" OR "Latacunga" OR "Pujilí" OR "Salcedo") AND ("volcanic activity" OR "volcanism" OR "geogenic contamination" OR "hydrothermal activity")

OR "geothermal activity" OR "actividad volcánica" OR "contaminación geogénica" OR "actividad geotérmica"). Los códigos booleanos fueron adaptados a la estructura requerida por cada plataforma de búsqueda.

Criterios de elegibilidad

En base a la pregunta PCC se establecieron los criterios de exclusión y elegibilidad que se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios de elegibilidad aplicados al corpus documental.

Dimensión	Criterio
Aceptación - Inclusión	• Publicaciones entre 2021 y 2025; • Investigaciones sobre calidad del agua y elementos potencialmente tóxicos; • Trabajos con datos de aguas superficiales, subterráneas o sistemas de riego en Cotopaxi.
Eliminación - Exclusión	• Duplicados; • Trabajos sin relación con contaminación por elementos potencialmente tóxicos • Publicaciones sin relevancia ambiental • Informes descriptivos sin metodología verificable.
Tipo documental	• Artículos y literatura técnica o gris.
Idioma	• Español e inglés

Selección de fuentes documentales de evidencia

El proceso de selección de documentos estuvo determinado por el algoritmo propuesto en la figura 1: identificación, depuración, cribado, elegibilidad e inclusión. Se identificaron 361 registros; 52 duplicados fueron eliminados y 309 pasaron a cribado. Se excluyeron 165 registros en esa fase y 144 pasaron a evaluación de texto completo. Posteriormente se excluyeron 104 textos y se incluyeron 40 fuentes. El número de revisores fue 4 para el proceso de resolución de discrepancias. El flujo se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Flujo de algoritmo de selección PRISMA.

Extracción, depuración y síntesis de datos

Luego de la elección de los documentos pertinentes se creó una matriz de caracterización documental y contiene 68 filas de relaciones estudio–sistema hídrico–elemento. Cada estudio documental se analizó y se registró las fuentes hídricas y los elementos contaminantes presentes. La base consolidada de concentraciones presentaba 68 relaciones con un campo de concentración: 40 celdas eran numéricas y 28 fueron codificados como “A”, categoría que indica que el agua fue reportada como apta, y su concentración con la normativa Tulsma Anexo VI. Los registros catalogados como “A”, se incorporaron en la síntesis descriptiva como evidencia de registro, pero no se usaron para el cálculo de estadísticos de concentración. Respecto a las concentraciones que exceden el límite se calcularon mediana y rango máximo y mínimo por fuente hídrica y elemento contaminante; Es necesario mencionar que no se desarrolló metaanálisis dada la heterogeneidad temporal y metodológica de los documentos obtenidos.

Se calcularon porcentajes y frecuencias por tipo documental, año, fuente hídrica y elementos contaminantes. Este análisis fue no excluyente, porque un artículo o tesis estudió más de un río o elemento. la codificación referente a los títulos y resúmenes se enfocaron a calidad de

agua, agricultura, contaminantes, monitoreo, salud, fuentes geogénicas, remediación, microbiología y gestión.

RESULTADOS

Características generales del corpus

Las 40 fuentes incluidas en el corpus se distribuyeron en 29 tesis de pregrado (72.5 %), 10 artículos científicos (25 %) y 1 tesis de posgrado (2.5 %). Los máximos anuales se observaron en 2025 (n = 15) y 2022 (n = 13). La evolución temporal se muestra en la Figura 2.

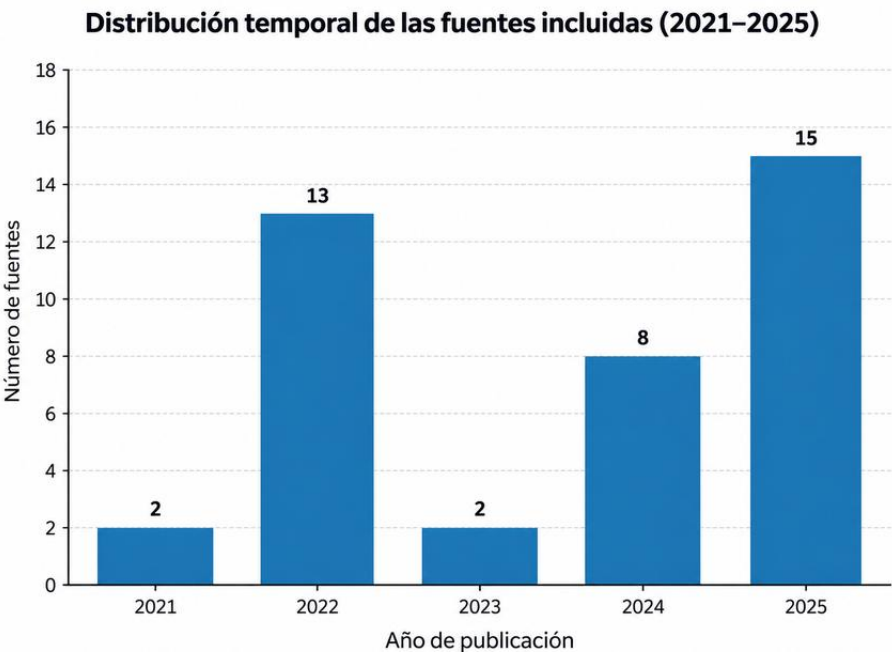


Figura 2. Distribución temporal de las 40 fuentes de evidencia incluidas.

La composición documental confirma el peso de la literatura académica local, especialmente tesis de pregrado. La Tabla 3 resume los principales rasgos documentales y temporales del corpus.

Tabla 3. Composición documental y temporal del corpus.

Categoría	n	Porcentaje %	Sección
Tesis de pregrado	29	72.5	Tipo documental
Artículo	10	25.0	Tipo documental
Tesis de posgrado	1	2.5	Tipo documental
Publicadas en 2024-2025	23	57.5	Temporalidad
Publicadas en 2021, 2022 o 2023	17	42.5	Temporalidad

Cobertura por sistema hídrico y elemento

Pumacunchi fue el sistema más representado (n = 25; 62.5 %), seguido por Cutuchi (n = 17; 42.5 %) y el canal Latacunga–Salcedo–Ambato (LSA) (n = 3; 7.5 %). Los porcentajes superan 100 % porque las categorías no son excluyentes. En cuanto a elementos potencialmente tóxicos, As estuvo presente en 33 fuentes (77.5 %), Cr en 9 (22.5 %), Pb en 8 (20.0 %), Cd en 7 (17.5 %) y B en 4 (10.0 %). La frecuencia por elemento se presenta en la Figura 3.

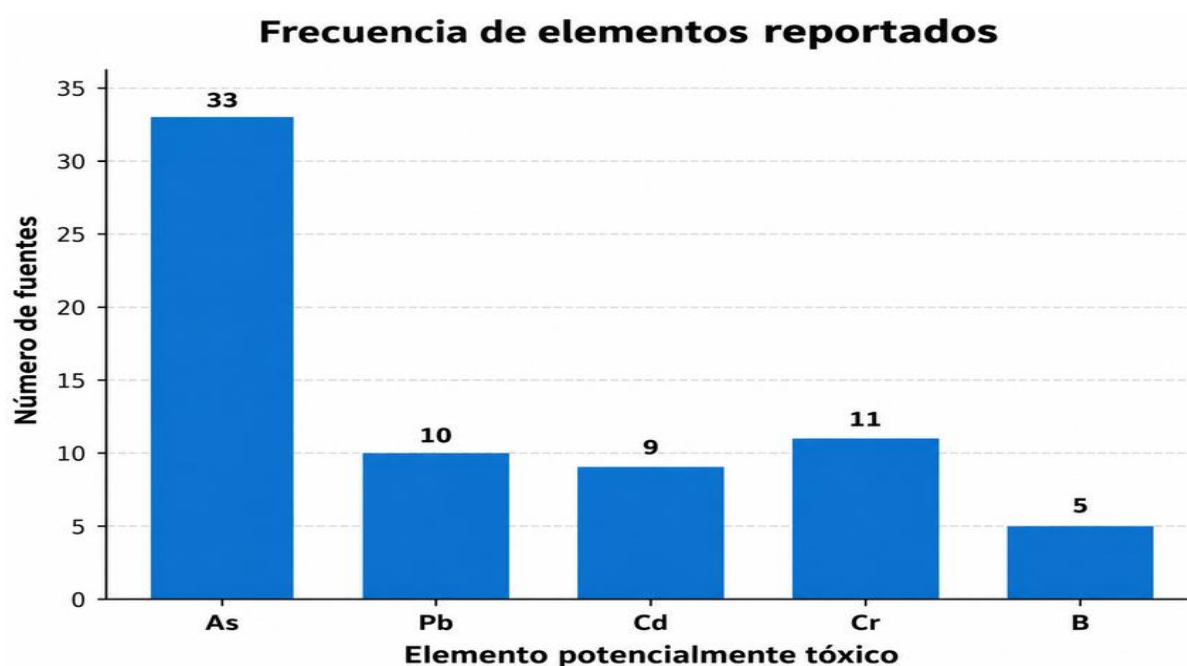


Figura 3. Frecuencia de elementos potencialmente tóxicos reportados.

Nota: una misma fuente puede contribuir a más de un elemento.

El cruce entre sistemas y elementos permite identificar un núcleo de arsénico en Pumacunchi y una cobertura más multimetálica en Cutuchi. La Tabla 4 presenta el mapa de cobertura.

Tabla 4. Mapa de cobertura estudio–sistema–elemento.

Fuente Hídrica	As	Pb	Cd	Cr	B
Río Pumacunchi	21	2	1	3	1
Río Cutuchi	9	7	7	5	2
Canal Latacunga, Salcedo, Ambato	3	1	1	3	2

En el río Pumacunchi, 21 fuentes se vincularon con As, mientras que Pb, Cd, Cr y B tuvieron menor cobertura. En Cutuchi, As apareció en 9 fuentes, Pb en 7 y Cd en 7, además de Cr y B. Mientras que un menor volumen documental presentó el canal LSA.

Arquitectura temática de la evidencia

El corpus fue codificado y abordó como su tema principal la contaminación de sistemas hídricos y su nivel de calidad del agua, fueron los más frecuentes, identificándose en 30 de las 40 fuentes (75,0 %). El arsénico fue el elemento nocivo más estudiado y nombrado en los títulos de 17 documentos (42,5 %), mientras que el tema relacionado a riesgo y efectos a la salud es un tema de poco interés o simplemente no se toma aun en cuenta en la discusión científica o técnica. La distribución temática se resume en la Tabla 5.

Tabla 5. Frecuencia de dominios temáticos codificados en títulos y resúmenes.

Dominio temático	n	% del corpus
Calidad del agua y contaminación hídrica	30	75,0
Arsénico en el título	17	42,5
Pb, Cd, Cr, B	15	37,5
Riego, agricultura, cultivos y suelos	12	30,0
Monitoreo temporal y modelación	11	27,5
Fuentes naturales, volcanismo e hidrogeoquímica	10	25,0
Microbiología y bioindicadores	10	25,0
Remediación, adsorción y biorremediación	8	20,0
Gestión ambiental y mitigación	6	15,0
Riesgo y efectos sobre la salud	5	12,5

El principal patrón de coocurrencia documental de la investigación corresponde al enfoque del estudio de arsénico en la fuente hídrica del río Pumacunchi y su relación con la ubicación geográfica: Toacaso- Tiliche, todos estos estudios enfocados en calidad de agua de riego, producción agrícola y estrategias de remoción. Un segundo eje se centra en el río Cutuchi como un río contaminado por varios metales ya que estudios integran: As, Cd, Pb y Cr con relaciones biológicas. Además, se puede caracterizar ejes como los relacionados a seguridad alimentaria, interacción de sustancias geológicas volcánicas y un último eje enfocado a remediación y monitoreo ambiental de las fuentes hídricas.

Mapeo descriptivo de concentraciones

Entre el periodo 2021 a 2025, se determinó el corpus final con 40 fuentes, las mismas presentaron 68 relación entre fuente hídrica, concentración y elemento. De estas, el 58,8 % presentaron valores que sobrepasan los límites permisibles del Texto de legislación secundaria anexo VI de concentración referente a cada elemento, mientras que 41,2 % fueron codificados como “A”, indicando que el elemento evaluado está dentro de los límites permisibles. Es importante mencionar que los registros clasificados como “A” no se utilizaron para los cálculos de mediana y rango.

Entre las observaciones numéricas de los contaminantes, la mayor cobertura cuantitativa presentó el As (n = 23), seguido por Pb (n = 5), Cd (n = 5), Cr (n = 4) y B (n = 3). Un factor determinante del estudio fue la heterogeneidad entre estudios respecto del año y sitio de muestreo, número de puntos y sensibilidad de métodos analíticos. El estado actual de la información encontrada no permite calcular promedios provinciales ni realizar metaanálisis, de esta manera los valores se sintetizaron mediante mediana y rango mínimo y máximo.

Tabla 6. Concentraciones registradas en la matriz de datos.

Fuente Hídrica	Elemento	n	Mediana (mg/L)	Rango mínimo-máximo (mg/L)
Canal LSA	As	2	0,041	0,030–0,052
Canal LSA	Cd	1	0,018	0,018–0,018
Canal LSA	B	1	2,700	2,700–2,700
Cutuchi	As	4	0,480	0,029–5,860
Cutuchi	Pb	4	0,120	0,030–0,680
Cutuchi	Cd	3	0,367	0,200–2,580
Cutuchi	Cr	3	2,000	0,090–3,670
Cutuchi	B	1	7,660	7,660–7,660
Pumacunchi	As	17	0,750	0,065–3,900
Pumacunchi	Pb	1	0,100	0,100–0,100

Pumacunchi	Cd	1	0,200	0,200–0,200
Pumacunchi	Cr	1	0,090	0,090–0,090
Pumacunchi	B	1	3,730	3,730–3,730

El corpus 2021–2025 mostró que el mayor valor de As fue en el río Cutuchi (5,860 mg/L); sin embargo, la mayor cantidad de observaciones numéricas de este elemento ($n = 17$) se concentraron en el río Pumacunchi, con una mediana de 0,750 mg/L y un intervalo registrado de 0,065 a 3,900 mg/L.

La variabilidad multimetálica se observó en el Cutuchi con la mayor cobertura cuantitativa para Pb, Cd y Cr dentro de los registros recientes. El Pb mostró un rango de (0,030–0,680 mg/L), el Cd de (0,200–2,580 mg/L) y el Cr de (0,090–3,670 mg/L). El máximo registrado para B también correspondió a Cutuchi (7,660 mg/L). Por su parte, el canal LSA presentó una cobertura cuantitativa limitada, con dos observaciones de As y valores únicos para Cd y B.

Vacíos de evidencia

El mapeo permitió identificar vacíos que afectan la comparabilidad de los estudios y la utilidad de la evidencia para la gestión hídrica. Las prioridades se sintetizan en la Tabla 7.

Tabla 7. Agenda de investigación y gestión derivada del mapeo de evidencia.

Vacío	Hallazgo del mapeo	Prioridad
Temporal	- Estudios puntuales - No hay campañas estacionales comparables.	- Monitoreo permanente - Campañas secas/lluviosas - Generar protocolos
Espacial	Cobertura concentrada en Pumacunchi, Cutuchi y Canal LSA.	Georreferenciación provincial con información de punto, concentración condiciones hidrológicas, uso de agua.
Hidroggeoquímico	Limitada información de mineralogía y trazadores de fuente.	- balances iónicos mayores y menores. - Diagramas de interacción agua-roca.
Exposición	Poca Información sobre relación agua-suelo-cultivo- bioacumulación.	Plan que vinculen concentraciones ambientales
Calidad metodológica	Heterogeneidad de métodos, unidades, campañas	- Protocolos QA/QC, - Reportes completos de límites de detección y cuantificación.
Gestión	No hay conexión entre datos ambientales, usos del agua y decisiones institucionales.	Trabajo transdisciplinar entre empresa pública, privada, academia y comunidad

DISCUSIÓN

Patrones hidroggeoquímicos y territoriales

La realidad actual del desarrollo investigativo de los contaminantes nocivos en las fuentes hídricas de la provincia de Cotopaxi se encuentra fragmentada en dos ejes principales: la

investigación sobre arsénico y su vínculo con sectores de Toacaso y Tiliche y el río Pumacunchi. El otro eje relevante es que el río Cutuchi al ser un río con historia de contaminación (25) presenta una base más multimetálica y una mayor asociación documental con descargas industriales y residenciales.

Comparando la revisión documental con otras regiones andinas se respalda la plausibilidad de la contribución geogénica y la hidrología para aportar As, es así que, en Perú, se han reportado concentraciones de 2.06 mg/L en épocas secas. El relacion a este trabajo se encontró valores de 3.9 mg/L, lo que se considera imperante profundizar o realizar estudios más completos a nivel hidrogeoquímica en estas zonas con geología volcánica (26) (27). Por otra parte en Chile se presentaron concentraciones considerablemente mayores ya que relevaron una media de 1.4mg/L, mientras que en zonas hidrotermales el As llegó a un umbral de 27mg/L, este contraste permite de manera superficial que la actividad geotérmica y sustancias volcanoclásticas tienen un efecto directo en la concentración de As en fuentes hídricas cercanas.

La literatura regional documenta que fluidos geotérmicos y emisiones volcánicas pueden enriquecer aguas en As y que su movilidad depende de procesos hidrogeoquímicos complejos (1) (9). En Ecuador, (14) aportan plausibilidad geoquímica a varios hallazgos locales. Sin embargo, la coincidencia espacial entre volcanismo y As elevado no demuestra por sí sola el origen de la contaminación; la atribución requiere especiación, trazadores y estudios de mezcla.

La distribución multimetálica en el río Cutuchi es compatible con la coexistencia de presiones antropogénicas y aportes naturales (18). En otras cuencas, la combinación de hidroquímica y análisis multivariado ha permitido diferenciar componentes antropogénicos y geogénicos (8). Aplicar diseños equivalentes en Cutuchi permitiría avanzar desde diagnósticos de concentración hacia modelos de fuente y transporte más robustos.

Implicaciones hidroagrícolas y de gestión

Cotopaxi al ser una de las principales provincias que aportan con sus cultivos al país debería tomar especial cuidado en la calidad de agua que se utiliza para regar los campos, esto se puede verse reflejado con la presencia de 12 fuentes vinculadas con cultivos y riego y se confirma que el problema hídrico tiene una dimensión productiva lo que puede favorecer la acumulación de contaminantes en plantas (21) (20). En Cotopaxi, las futuras investigaciones deberán integrar a entidades públicas como ARCA, Prefectura de Cotopaxi, universidades, empresas privadas y comunidad para trabajar de manera transdisciplinar en la solución a la circularidad de contaminantes en agua, suelo y cultivo.

Literatura gris, fortalezas y limitaciones

Los resultados del scoping review se puede interpretar de dos maneras ya que existió preponderancia de tesis de pregrado (72.5 %). Se pudo recuperar información territorial local mediante la denominada literatura gris y al mismo tiempo, reconoce la importancia de los repositorios locales con su información, aunque presenten heterogeneidad temporal y sensibilidad analítica de muestras variada. Un aspecto de prioridad debe ser que los nuevos

estudios no queden como tesis sino más bien se transformen en artículos integradores siendo mas visibles para la comunidad científica y se pueda reportar de mejor manera los resultados.

CONCLUSIONES

La evidencia publicada entre 2021 y 2025 muestra que los elementos potencialmente tóxicos en los sistemas hídricos de Cotopaxi conforman una problemática ambiental de naturaleza mixta. Se debe enfocar estudio especializados en uso de agua en la agricultura en el canal LSA ya que actualmente tiene menor volumen de estudios y es la principal fuente de agua para la mayoría de áreas de cultivos en Cotopaxi.

Respecto al río Pumacunchi se debe concentrar en investigaciones especializadas en hidrogeoquímica y relacion con iones mayores y menores para establecer de manera científica la presencia de arsénico y su relación con fuentes naturales, mientras que para el río Cutuchi al tener un perfil más amplio de contaminantes, el primer paso sería establecer las principales fuentes industriales y residenciales que le aportan contaminantes al rio mediante una bitácora documental con descargas y posterior a ello aplicar la evaluación de la calidad del agua.

Un crecimiento reciente de la investigación es notorio y se puede verificar mediante las 40 fuentes de evidencia, en su mayoría tesis, pero escasa continuidad temporal y limitada rigurosidad técnica. Aunque se muestran valores que sobrepasan la normativa nacional vigente tanto para agricultura, riego y consumo humano , no se puede interpretar promedios provinciales o realizar comparaciones causales robustas debido a la heterogeneidad de metodologías y lugares de análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. López DL, Bundschuh J, Birkle P, Armienta MA, Cumbal L, Sracek O, et al. Arsenic in volcanic geothermal fluids of Latin America. *Science of the Total Environment*. 2012; 429: p. 57–75.
2. Buytaert W, Céleri R, De Bièvre B, Cisneros F, Wyseure G, Deckers J, et al. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*. 2006; 79(1-2): p. 53-72.
3. Carvajal Jiménez BD. Evaluación hidrogeoquímica y dinámica de la dispersión de hierro y arsénico de los ríos Cutuchi y Pumacunchi de la provincia de Cotopaxi. Latacunga - Ecuador.
4. Sanchez E, Mejía F, Vizcaíno G, Cipriani-Ávila I. ANÁLISIS MINERALÓGICO Y MULTIELEMENTAL DE LA CENIZA VOLCÁNICA, PRODUCTO DE LA ERUPCIÓN DEL COTOPAXI EN 2015, POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD) Y ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-MS) Y SUS POSIBLES APLICACIONES E IMPACTOS. *infoANALITICA*. 2018; 6.
5. Baldock JW. Geología del Ecuador: Boletín de la explicación del mapa geológico de la República del Ecuador, escala 1:1.000.000. Quito.
6. Guevara A. Estudio de las propiedades de las cenizas del volcán Tungurahua, Ecuador, para identificar los factores que determinan su impacto en suelos y cultivos. Lovaina, Bélgica: Universidad Católica de Lovaina.

7. Smedley PL, Kinniburgh DG. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*. 2002; 17(5): p. 517–568..
8. Wang YX, Li P, Guo QH, Jiang Z, Liu ML. Environmental biogeochemistry of high arsenic geothermal fluids.. *Applied Geochemistry*. 2018; 97 : p. 81–92.
9. Morales-Simfors N, Bundschuh J, Herath I, Inguaggiato C, Caselli AT, Tapia J, et al. rsenic in Latin America: A critical overview on the geochemistry of arsenic originating from geothermal features and volcanic emissions for solving its environmental consequences.. *Science of the total environment*. 2020; 716: p. 135564.
10. Re V, Sacchi E, Mas Pla J, Menció A, El Amrani N. Identifying the effects of human pressure on groundwater quality to 646 support water management strategies in coastal regions: A multi-tracer 647 and statistical approach (Bou-Areg region, Morocco).. *Science of the total environment*,. 2014; 500–501: p. 211–223.
11. Busico G, Cuoco E, Kazakis N, Colombani N, Mastrocicco M, Tedesco D, et al. Multivariate statistical analysis to characterize/discriminate between anthropogenic and geogenic trace elements occurrence in the Campania Plain, Southern Italy. *Environmental Pollution*. 2018; 234: p. 260-269.
12. Mangui Andrade AM, Mendoza Quishpe MF, Ágreda Oña JL. Modelación hidrogeoquímica del transporte de metales pesados ríos andinos del Ecuador. *Revista Recursos Naturales Producción Y Sostenibilidad*. 2025; 4(2): p. 11-23.
13. Alvarez Agama CE. Evaluación de la bioacumulación de (As) y (Cd), en cultivos de Lactuca sativa y Daucus carota, en suelos agrícolas de la parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi, período 2019-2020. Latacunga - Ecuador.
14. Cumbal L, Vallejo P, Rodriguez B, Lopez D. Arsenic in geothermal sources at the north-central Andean region of Ecuador: concentrations and mechanisms of mobility. *Environmental Earth Sciences*. 2010; 61(2): p. 299-310.
15. Sánchez Mateos S, Pérez LV, Córdova Suárez MA, Cabrera Riofrio DA. Heavy metal contamination in the Cotopaxi and Tungurahua rivers: A health risk.. *Environmental Earth Sciences*. 2020; 79(6): p. 144.
16. Cuji Quingaluisa JK. Evaluación del vetiver (*Vetiveria zizanioides*) para la disminución de metales pesados (Pb, Cd), en el canal de riego Latacunga–Salcedo–Ambato en el sector Samanga. Latacunga - Ecuador.
17. Fonseca Largo KM, Ruiz Depablos JL, Espitia-Sarmiento EF, Llugsha Moreta NM. Artificial floating island with vetiver for treatment of arsenic-contaminated water: A real scale study in high Andean reservoir. *Water*. 2020; 12(11): p. 3086.
18. Zapata D, Oleas NH, Páez-Vacas M, Tobes I. Water quality assessment of the Cutuchi River basin (Ecuador): A review of technical documents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 690(1): p. 012058.
- :
20. Ordóñez Padilla FC. Evaluación de la calidad del agua de los sistemas de riego Machachi-Tambillo y Latacunga-Salcedo-Ambato, para determinar el grado de cumplimiento con la normativa y salvaguardar la seguridad alimentaria: Determinación de la calidad del agua del sistema de. Quito - Ecuador.
21. Jalali M, Merikhpour H, Kaledhonkar MJ, Van der Zee SE. Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. *Agricultural water management*. 2008; 95(2): p. 143-153.

22. Farahat E, Linderholm HW. The effect of long-term wastewater irrigation on accumulation and transfer of heavy metals in *Cupressus sempervirens* leaves and adjacent soils. *Science of the Total Environment*. 2015; 512-513: p. 1-7.
23. Vetrimurugan E, Brindha K, Elango L, Ndwandwe OM. Human exposure risk to heavy metals through groundwater used for drinking in an intensively irrigated river delta. *Applied Water Science*. 2017; 7: p. 3267–3280.
24. Peters MD, Godfrey C, McInerney P, Munn Z, Tricco AC, Khalil H. JBI Manual for Evidence Synthesis. En Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z, editores. *Scoping reviews*.: JBI; 2024.
25. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O’Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*. 2018; 169(7): p. 467–473.
26. Riofrío Guevara MA, Mogro Cepeda YV, Carvajal Jiménez BD, Cando Sangucho BJ, Jacho Lugmaña AY. El río Cutuchi, contaminante que fluye en nuestra sociedad y la afecta. *RECIMUNDO*. 2024; 8(especial): p. 51-60.
27. Ccancapa-Cartagena A, Paredes B, Vera C, Chavez-Gonzales FD, Olson EJ, Welp LR, et al. Occurrence and probabilistic health risk assessment (PRA) of dissolved metals in surface water sources in Southern Peru. *Environmental Advances*. 2021; 5(100102).
28. Ccancapa-Cartagena A, Chavez-Gonzales FD, Paredes B, Vera C, Gutierrez G, Valencia R, et al. Seasonal differences in trace metal concentrations in the major rivers of the hyper-arid southwestern Andes basins of Peru. *Journal of Environmental Management*. 2023; 344(118493).