

Evaluación de metales pesados y comportamiento social asociados con la calidad del agua en el río Suches, Puno, Perú

Evaluation of heavy metals and social behavior associated with water quality in the Suches River, Puno, Peru

Dante Salas-Ávila¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7033-2006>

Fermin Francisco Chaiña-Chura², ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0559-9748>

Germán Belizario-Quispe³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9805-3714>

Edgar Quispe-Mamani⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4877-8551>

Roger Huanqui-Pérez⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9760-4166>

Edilberto Velarde-Coaquira⁶, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1966-7924>

Fernando Bernedo-Colca⁷, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0133-3395>

Dante Salas-Mercado⁸, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0656-1979>

Marián Hermoza-Gutiérrez⁹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1104-1695>

¹Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Instituto de Investigación en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente, Puno, Perú, dsalas@unap.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Instituto de Investigación en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente, Puno, Perú, fchaina@unap.edu.pe

³Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Instituto de Investigación en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente, Puno, Perú, gbelizario@unap.edu.pe

⁴Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Instituto de Investigación en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente, Puno, Perú, edgarquispe@unap.edu.pe

⁵Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Instituto de Investigación en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente, Puno, Perú, rhuanqui@unap.edu.pe

⁶Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Instituto de Investigación en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente, Puno, Perú, evelarde@unap.edu.pe

⁷Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Instituto de Investigación en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente, Puno, Perú, fbernedo@unap.edu.pe

⁸Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Escuela de Posgrado, Programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Puno, Perú, dsalasm@unap.edu.pe

⁹Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Escuela de Posgrado, Programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Puno, Perú, mhermoza@unap.edu.pe

Autor para correspondencia: Dante Salas-Ávila, dsalas@unap.edu.pe

Resumen

El objetivo de este estudio es evaluar la concentración de metales pesados en el río Suches y analizar el comportamiento social de los actores locales sobre la calidad del agua relacionada con actividades mineras en Cojata, Puno, Perú. Se recolectaron muestras de agua y sedimentos del río Suches para la cuantificación de As, Cd, Cr, Pb, Cu y Hg mediante espectrofotometría de masas con plasma inductivo acoplado (ICP-MS). La investigación incluyó el análisis cualitativo del comportamiento social de los actores comunales de Cojata, con base en la recolección de testimonios representativos. Las concentraciones promedio de metales en agua se encuentran por debajo de los ECA-

categoría 3 de Perú; sin embargo, el As (11.52 mg kg^{-1}) y Cd (1.14 mg kg^{-1}), en las muestras de sedimentos, superan los límites recomendados por la ISQG de Canadá. La presencia de estos metales en el río se debería a las descargas generadas por excavaciones y drenajes propios de las actividades mineras, así como a la composición mineralógica y meteorización natural de rocas en la zona de estudio, lo que causaría impactos negativos en la calidad del agua del río. El comportamiento social de rechazo a la minería se basa en la asociación colectiva de una mala calidad del agua relacionada con la turbidez de la misma. Las diversas fuentes de evidencia sugieren la necesidad de la formalización de las actividades mineras en Cojata, así como la implementación de mejoras en las normativas ambientales nacionales.

Palabras clave: agua, comportamiento social, metales pesados, río Suches, sedimentos.

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the concentration of heavy metals in the Suches river and to analyze the social behavior of local agents on the quality of water-related to mining activities in Cojata, Puno, Peru. Water and sediment samples were collected from the Suches river for the quantification of As, Cd, Cr, Pb, Cu, and Hg through inductive plasma mass spectrophotometry (ICP-MS). The research included the qualitative analysis of the social behavior of the communal

agents of Cojata, based on the collection of representative testimonies. Average concentrations of metals in water are below the ECA-category 3 of Peru; however, As (11.52 mg kg^{-1}) and Cd (1.14 mg kg^{-1}) in the sediment samples exceed the limits recommended by the ISQG of Canada. The presence of these metals in the river is due to the discharges generated by excavations and drainage typical of mining activities, as well as the mineralogical composition and natural weathering of rocks in the study area, which would cause negative impacts on the quality of the river water. The social behavior of rejection of mining is based on the collective association of poor water quality related to its turbidity. The various sources of evidence suggest the need for the formalization of mining activities in Cojata, as well as the implementation of improvements in national environmental regulations.

Keywords: Water, social behavior, heavy metals, Suches river, sediments.

Recibido: 22/07/2020

Aceptado: 14/11/2020

Introducción

La minería es una de las actividades económicas extractivas más importantes en el mundo. Varias cuencas fluviales al sur del Perú son ricas en depósitos y yacimientos de metales de alto valor comercial e industrial (INGEMMET, 2009); sin embargo, con el paso del tiempo, las zonas en donde se llevan a cabo estos procesos enfrentan cambios sustanciales tanto en los propios sitios de explotación como en las áreas circundantes, convirtiéndose en ambientes afectados por el uso del terreno, la localización de vertederos de residuos y el establecimiento de campamentos difusos (McIntyre, Bulovic, Cane, & McKenna, 2016).

La remoción y el deslizamiento de grandes cantidades de suelo pueden contener metales pesados, considerados como contaminantes químicos cuando se encuentran en altas concentraciones en cualquier cuerpo ambiental (Hodges, 1995; Rahim *et al.*, 2019). Los metales considerados como tóxicos son principalmente As, Cd, Cu, Cr, Pb y Hg (OMS, 2006; Yi *et al.*, 2020), los cuales pueden afectar significativamente los recursos hídricos en términos de disponibilidad de agua de buena calidad, así como generar impactos potenciales en una amplia gama de servicios ecosistémicos (Hodges, 1995; Liang *et al.*, 2020).

Los riesgos que implican la transferencia de metales a través de la cadena trófica (Lu *et al.*, 2019) y el daño que representa para la salud humana (Topalián, Castañé, Rovedatti, & Salibián, 1999) tiene alta relevancia, sobre todo en poblaciones desarrolladas cerca de las actividades mineras (Islam, Ahmed, Raknuzzaman, Habibullah-Al-Mamun, & Islam, 2015), pues estas ocurrencias pueden extenderse más allá de la vida operativa de la mina y se considera que, en muchos casos, los impactos adversos sociales y ambientales superan los beneficios del proyecto (Ural & Demirkol, 2008).

En Perú, las actividades mineras de menor escala constituyen un riesgo para los compartimientos ambientales. Existen casos de minas legales con actividad a pequeña escala cubiertas por regulaciones que protegen los ambientes acuáticos mediante criterios de calidad de agua (MINAM, 2017), para ello se toma en cuenta el uso del cuerpo acuático de acuerdo con la categorización: categoría 1 (poblacional y recreacional); categoría 2 (extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales); categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); categoría 4 (conservación del ambiente acuático) (ANA, 2018). Sin embargo, el gobierno peruano aún no ha emitido un decreto guía que establezca parámetros de calidad en sedimentos, por lo que muchos estudios (Ali-Khan, Tobin, Paterson, Khan, & Warren, 2005; Chau & Kulikovskiy-Cordeiro, 1995; Flores, Del-Angel, Frías, & Gómez, 2018; Zotou, Tsihrintzis, & Gikas, 2020) suelen utilizar referencias internacionales como las canadienses (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1995), las que a su vez pueden ser complementadas

usando las guías de niveles de efectos probables recomendadas por MacDonald, Ingersoll y Berger (2000).

La práctica intensiva de la minería junto con otros usos de la tierra que afectan los regímenes hidrológicos y la calidad del agua en las cuencas, a su vez, genera incertidumbre y disputas sociales sobre la fuente hídrica de las comunidades cercanas (McIntyre *et al.*, 2016). Numerosas investigaciones destacan la necesidad de completar el diagnóstico de la calidad ambiental de un ecosistema a través de la discusión entre los diversos grupos de actores sociales que son parte del área de influencia de los estados alternativos de una actividad industrial (Chapin, Folke, & Kofinas, 2009; Sánchez-Infantas & Quinteros-Carlos, 2017). Otros estudios han sugerido que existe una influencia en el comportamiento de los actores sociales a partir de las observaciones sobre las características de los cuerpos ambientales y los riesgos que podrían comprometer su salud y/o productividad (Hilson, 2005; Paul, 2017b; Pengli, 2008).

Dogaru *et al.* (2009) demuestran que los resultados asociados con las experiencias de los actores y la medición de la calidad del agua en la Cuenca Certej, en Rumania, son convergentes. Tales hallazgos también sugieren que las actividades mineras representan un riesgo obvio en el agua superficial; sin embargo, la calidad del agua fue poco predicha por el modelo de regresión y no parece estar tan relacionada con la minería como otros factores explicativos asociados con la mineralogía del suelo y dinámica hidrológica. Es así que el comportamiento social y las

características de los cuerpos ambientales refieren distintos tipos de evidencias que, al relacionarlas, permiten sentar bases para una mejor gestión de los recursos de forma más precisa y transdisciplinaria (McIntyre *et al.*, 2016; Morales *et al.*, 2020).

Los gobiernos de países con mineros artesanales de oro insisten en que la solución de los conflictos entre los actores sociales y mineros informales e ilegales es la formalización de los mineros. En esta línea, Milanez y Puppim-de-Oliveira (2013) evaluaron un caso en el que la formalización e instauración consensuada de pequeños clústeres o agentes económicos comunales han contribuido con la mejora ambiental por parte del sector minero en el estado de Piauí (Brasil). Los resultados sugieren que cierta formalización de las prácticas existentes y políticas adecuadas han desencadenado la innovación con algunos efectos positivos en el desempeño de la minería artesanal.

Por otro lado, en el estado peruano se han desarrollado una serie de acciones erráticas y fallidas en el proceso de formalización de la minería ilegal e informal. Valdés, Basombrío y Vera (2014) indican que factores relacionados a deficiencias económico-estructurales (empleo informal), falta de políticas públicas eficientes y la inestabilidad del gobierno ante las presiones del sector minero explican el porqué no se lograron alcanzar los objetivos y las metas en los plazos propuestos.

El propósito de este estudio es evaluar la concentración de metales pesados en el río Suches y analizar el comportamiento social de

los actores locales sobre la calidad de agua relacionada con actividades mineras en Cojata, Puno, Perú.

Metales pesados como contaminantes ambientales

La presencia de metales pesados en cualquiera de los cuerpos ambientales es motivo de grave preocupación debido a sus biomagnificaciones hasta los niveles tróficos más altos (Jain, Kapur, Labana, Banwari, & Sarma, 2005; Paul, 2017a).

La concentración anómala de varios metales y metaloides en los ecosistemas ha despertado la necesidad de un conocimiento más preciso sobre su comportamiento geoquímico en ambientes naturales cerca de áreas mineras, vertederos, áreas urbanas y centros industriales (ATSDR, 2006), pues estos elementos representan alto riesgo para la salud humana (ATSDR, 2020). Es ampliamente conocido que, de llegar a acumularse en el organismo, los metales pueden ocasionar la formación de tumores, trastornos gastrointestinales, musculares, reproductivos,

neurológicos y hereditarios (Buxton *et al.*, 2019; Genthe, Kapwata, Le-Roux, Chamier & Wright, 2018; Wang, Qin & Liu, 2019).

En Perú, varios estudios han informado sobre la presencia y acumulación de metales pesados en agua y sedimentos en zonas donde se realizan actividades extractivas mineras (Himley, 2014). Donaires-Flores (2017) reportó que la primera parte del río Suches, partiendo del punto de origen, presenta un índice de contaminación del agua de 0.20, considerándolo de calidad aceptable con una baja presencia de microcontaminantes; sin embargo, las porciones media y baja presentan mayor deterioro del río atribuido a la acumulación de metales pesados, con índice de contaminación de 0.70 y 0.50, respectivamente. Asimismo, Santos-Frances, Martinez-Grana, Alonso-Rojo y Garcia Sanchez (2017) determinaron que el grado de contaminación por metales en Colquirrumi (zona de gran altitud de la Cordillera Occidental de los Andes) fue alta debido a la densidad de sitios mineros con operaciones en la zona. Por otro lado, Pino *et al.* (2017) determinaron las interrelaciones entre la geología, el clima y la hidrología en la cuenca Caplina (Tacna-Perú). Sus hallazgos concluyen la identificación de tres unidades geomorfológicas: Cordillera Occidental, Puna y Flanco Disectado, en donde se destaca el papel de las lluvias de verano en la circulación del mayor porcentaje de escurrimiento superficial, erosionando rocas andesíticas y dacíticas, transportando sedimentos por el agua de forma recurrente; además, se reconocieron las fuentes con mayor influencia sobre la calidad del agua, tales como arsénico (1.43 mg l^{-1}), plomo (0.22 mg l^{-1}) y sodio (296.72 mg l^{-1}), que se encontraban

por encima de los valores de los estándares de calidad ambiental de Perú (MINAM, 2017).

Es por ello que a pesar de que la minería genera grandes beneficios económicos también puede causar serios riesgos socioambientales, como modificaciones severas de los recursos naturales y diversos impactos sociales; en consecuencia, evaluar la concentración de estos metales es de primordial importancia para el beneficio del ecosistema y de las comunidades de dichas zonas.

Enfoque de análisis del comportamiento social

Para el análisis del comportamiento social de los actores comunales en torno a la contaminación de las aguas y sedimentos se recurre a la teoría sociológica de la acción social. Esta acción social es guiada, no por las estructuras ni las reglas impuestas como marco de coerción de los sujetos o actores, sino por sentimientos, ideas y actitudes críticas, reflexivas y comprensivas de los actores (Weber, 2002). Entendida de esta manera, la acción social se ocupa del comportamiento humano en tanto producto de la interacción social de los actores basada en la acción

comunicativa, donde el lenguaje juega un papel prominente, acompañado de la interpretación para la coordinación y negociación de las acciones (Habermas, 1999; Lorenc, 2014); la acción social busca entender la manera en que los individuos o las personas consiguen entrelazar sus acciones para la realización de una cosa en común, en un lugar y tiempo determinado (Allones-Pérez, 2005).

De modo similar, haciendo referencia a Giddens, Lutz (2010) sostiene que la acción social es un proceso continuo de reflexión que el individuo o el actor mantiene para el control del cuerpo en su vida cotidiana; es decir, la organización de la vida cotidiana es el proceso mediante el cual los individuos construyen y reconstruyen la estructura social. Esto es producto de la conducta intencional que se da gracias a la reflexividad constante del agente.

Por otro lado, desde la perspectiva fenomenológica de Schutz, se busca la comprensión del significado subjetivo de la acción social (Laffaye, 2013), porque toda vivencia o experiencia es potencialmente significativa en tanto, a través de una mirada reflexiva, pueda ser separada del flujo de la experiencia y captado así "su significado subyacente". En este sentido, como sostiene López (1995), la fenomenología de Schutz centra su atención en los actores sociales, cuya conducta no puede ser explicada mediante esquemas causales, sino que debe ser comprendida; es decir, se hace necesaria la comprensión subjetiva de aquella conducta, lo cual, a su vez, implica el

conocimiento de las funciones conscientes de los actores, porque la subjetividad de los actores constituye el mundo objetivo.

Finalmente, desde la perspectiva socio-fenomenológica se busca entender el comportamiento social de los actores contextualizándolos en el mundo de la vida (Toledo, 2007), que constituye el horizonte de todas las formas de realidad que las diversas prácticas sociales o experiencias vividas y cognitivas pueden llegar a configurar.

Materiales y métodos

Área de estudio

La cuenca del río Suches, ubicada entre los países de Perú y Bolivia (Rodríguez & Ulanowicz, 2015), tiene un recorrido de 164 km de longitud (Iltis, Carmouze, & Lemoalle, 1991) hasta desembocar y

convertirse en uno de los principales tributarios del lago Titicaca (Molina & Pouilly, 2016). En la cabecera de esta cuenca, al margen del río Suches, se desarrollan actividades mineras artesanales (Villegas *et al.*, 2012), en las que predominan procesos de extracción de mineral a cielo abierto (INGEMMET, 2009). En este estudio se consideró el monitoreo del tramo laguna Suches-capital del distrito de Cojata (Figura 1), con una longitud de 33.8 km. Los puntos de muestreo se describen en la Tabla 1.

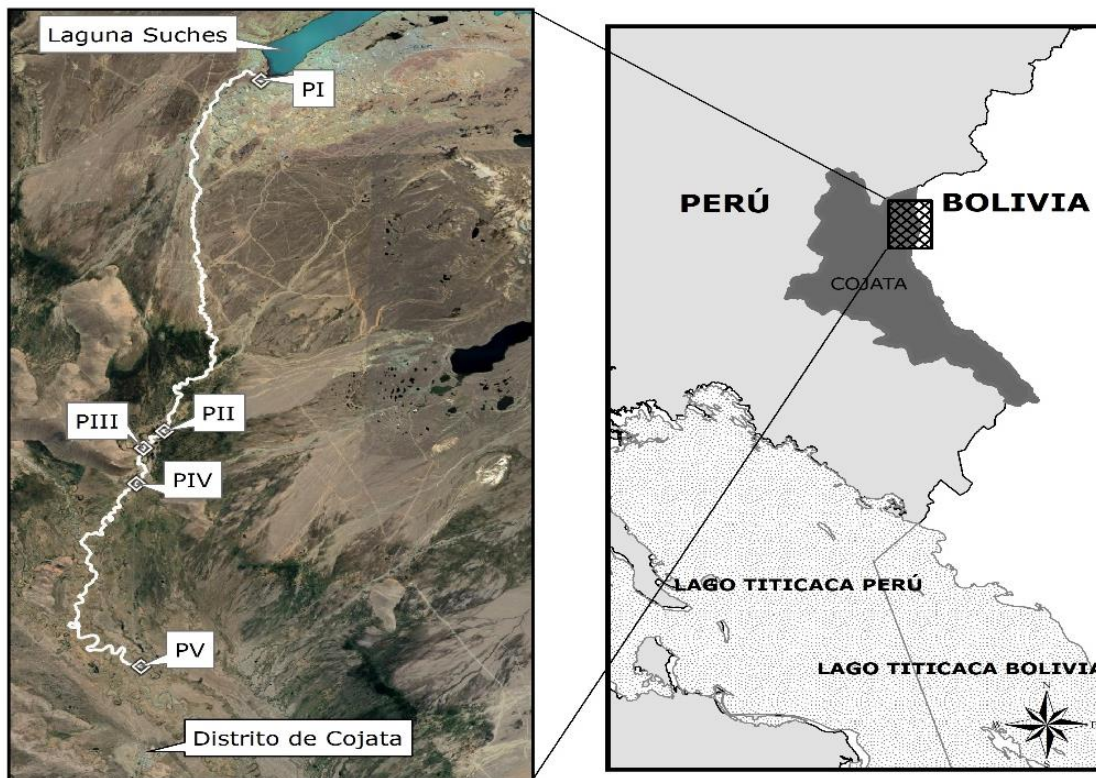


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Geolocalización de puntos de muestreo.

| Puntos de muestreo | Latitud sur | Longitud oeste | Descripción |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|--|
| PI | 14° 47' 44.57" | 69° 20' 24.85" | Efluente de la laguna Suches |
| PII | 14° 54' 28.74" | 69° 21' 48.33" | Zona colectora de vertimientos mineros |
| PIII | 14° 54' 48.81" | 69° 22' 8.03" | Zona de actividad agropecuaria |
| PIV | 14° 55' 30.04" | 69° 22' 13.8" | Zona de captación de afluentes por la margen izquierda |
| PV | 14° 59' 1.22" | 69° 22' 4.08" | Zona próxima a la capital del distrito de Cojata |

Fuente: elaboración propia.

Para la valoración de opiniones sobre las experiencias vividas de los actores locales respecto a la contaminación ambiental se tuvo en

cuenta la participación de pobladores del distrito de Cojata, el cual está ubicado en la provincia de Huancané, a 5 000 msnm, en el departamento de Puno (Perú). Dicha localidad está conformada por 16 comunidades con un total de 769 viviendas (INEI, 2017) y es el primer distrito en recibir las aguas del río Suches (DRA Puno, 2016). Los pobladores de Cojata realizan principalmente actividades agropecuarias, aprovechando la relativa cercanía del río para abastecerse de agua dulce (DRA Puno, 2016; Gonzáles & Aparicio, 2009; Huanca, Apaza, & Lazo, 2007).

Muestreo de agua y sedimentos

Teniendo en cuenta el Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Agua de Recursos Hídricos Superficiales de Perú (ANA, 2016), se establecieron cinco puntos de muestreo, los cuales se describen en la Tabla 1. Los muestreos se llevaron a cabo durante la transición de la temporada seca a lluviosa en los meses de octubre a diciembre de 2019, así como en los meses de enero y febrero de 2020. En cada punto se recolectaron 50 ml de agua en un frasco cónico de polietileno tipo falcon

a 10 cm de profundidad del agua, añadiéndole 1 ml de ácido nítrico; además, se recolectaron 250 g de sedimento superficial con un cucharón de policarbonato en bolsas de polietileno con cierre hermético. Las muestras se conservaron a 4 °C hasta su análisis en laboratorio (EPA, 1991).

Determinación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados

El pH, la conductividad eléctrica (CE), el potencial óxido-reducción (POR) y la temperatura fueron determinados *in situ* utilizando el multiparámetro modelo HI9829 de la marca HANNA. Asimismo, el personal de campo registró la turbidez del agua en forma cualitativa. Las muestras fueron cuantificadas en un espectrofotómetro de masa con plasma acoplado inductivo ICP-MS, modelo iCAP Q de la marca Thermo Scientific. Se determinó la concentración de seis metales pesados en agua (EPA, 2014) y sedimentos (EPA, 1996; EPA, 2007): arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg) y plomo (Pb). Las

concentraciones de los metales se evaluaron de acuerdo con los estándares de calidad de agua de Perú, categoría 3 (MINAM, 2017), y la guía de calidad de sedimentos de Canadá (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1995).

Metodología para el análisis del comportamiento social

Para la recolección de datos *in situ* referidos a las subjetividades e intersubjetividades de los actores locales sobre la calidad del agua con relación a las actividades mineras se utilizaron tres técnicas cualitativas (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). En una primera etapa se aplicó la guía de entrevista semiestructurada a 30 tenientes gobernadores (autoridades de zonas rurales) que representan a las zonas aledañas del río Suches (ámbito de estudio), lo que ha permitido registrar las experiencias subjetivas de los actores locales. En una segunda etapa se aplicó la guía de grupo focal a ocho autoridades comunales y personas encargadas de gestionar el riego de los campos de cultivo en el distrito de Cojata, quienes cuentan con mayor información sobre las problemáticas que permitieron identificar y describir las intersubjetividades de los actores sociales. Por último, la

ficha de registro de observación directa permitió analizar el comportamiento social de los actores con relación a los procesos socio-ambientales.

Posteriormente, se efectuó el procesamiento y análisis de los datos mediante el *software* de análisis cualitativo *Atlas.ti 8* para sistematizar los datos a través de la identificación y articulación de los testimonios de los actores locales en función de las subcategorías en las que se ha organizado la categoría de caracterización y problemática social del río.

Resultados

Caracterización fisicoquímica

Los valores de pH en agua del río Suches oscilan entre 6.98 y 7.56, indicando mínimas variaciones a lo largo de la zona de estudio; se obtuvieron valores de conductividad eléctrica entre 84.6 y 126 uS/cm; asimismo, el potencial óxido-reducción varía entre 191 y 208 mV. Se registró que en el punto PI la turbidez del agua fue clara y sin variaciones perceptibles; en PII y PIII el estado turbio del río fue evidente; mientras que en PIV y PV la apariencia del agua fue semiclara. La temperatura del río fluctuó entre 9.04 y 14.3 °C.

Determinación de metales pesados en agua y sedimentos

La Tabla 2 muestra la concentración de metales en agua, donde se observa que el As se encuentra de 0.78 a 6.62 $\mu\text{g l}^{-1}$; Cr de 1.95 a 10.5 $\mu\text{g l}^{-1}$; Cu de 2.68 a 6.78 $\mu\text{g l}^{-1}$, y Pb de 0.58 a 5.45 $\mu\text{g l}^{-1}$, mientras que el Cd y Hg están por debajo de los límites de detección (BLD). Todos los metales están por debajo de los estándares de calidad ambiental en agua de Perú.

Tabla 2. Concentración de metales pesados en agua.

| Puntos de muestreo | | As $\mu\text{g l}^{-1}$ | Cd $\mu\text{g l}^{-1}$ | Cr $\mu\text{g l}^{-1}$ | Cu $\mu\text{g l}^{-1}$ | Hg $\mu\text{g l}^{-1}$ | Pb $\mu\text{g l}^{-1}$ |
|--------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PI | | 0.78 ± 0.084 | BLD | 1.95 ± 1.2 | 6.15 ± 4.9 | BLD | 0.58 ± 0.3 |
| PII | | 5.86 ± 4.61 | BLD | 10.5 ± 6.7 | 6.02 ± 4.7 | BLD | 5.45 ± 3.9 |
| PIII | | 6.62 ± 3.25 | BLD | 6.24 ± 3.0 | 6.78 ± 3.2 | BLD | 4.92 ± 2.5 |
| PIV | | 4.36 ± 2.09 | BLD | 4.2 ± 2.2 | 5.52 ± 2.6 | BLD | 3.16 ± 1.6 |
| PV | | 2.44 ± 2.13 | BLD | 3.1 ± 2.2 | 2.68 ± 2.4 | BLD | 1.95 ± 2.1 |
| Valor medio | | 4.01 | --- | 5.2 | 5.43 | --- | 3.21 |
| DE (1σ) | | 2.4 | --- | 3.4 | 1.6 | --- | 2.0 |
| Mediana | | 4.36 | --- | 4.2 | 6.02 | --- | 3.16 |
| Máx. | | 6.62 | --- | 10.5 | 6.78 | --- | 5.45 |
| Mín. | | 0.8 | --- | 1.95 | 2.68 | --- | 0.58 |
| ECA | Agua (C-3) | 100 | 10 | --- | 200 | 1 | 50 |

Fuente: elaboración propia.

La concentración de los seis metales pesados en sedimentos se muestra en la Tabla 3. La concentración de Cd presentó un intervalo entre 0.9 a 1.3 mg kg⁻¹ con un valor medio de 1.14 mg kg⁻¹ y una distribución homogénea a lo largo de la zona de estudio que supera el límite ISQG de 0.6 mg kg⁻¹; sin embargo, ningún sitio presenta una concentración superior al límite PEL de 3.5 mg kg⁻¹ propuesto por MacDonald *et al.* (2000). La concentración de As presentó un intervalo entre 3.6 y 15.5 mg kg⁻¹, con un valor medio de 11.52 mg kg⁻¹; los sitios PI, PII, PIII y PV superan el límite ISQG de 5.9 mg kg⁻¹, aunque todos los sitios presentan una concentración inferior al límite PEL de 17 mg kg⁻¹ (MacDonald *et al.*, 2000).

Tabla 3. Concentración de metales pesados en sedimentos.

| Puntos de muestreo | As mg kg ⁻¹ | Cd mg kg ⁻¹ | Cr mg kg ⁻¹ | Cu mg kg ⁻¹ | Hg mg kg ⁻¹ | Pb mg kg ⁻¹ |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| PI | 13.5 ± 0.4 | 1.2 ± 0.5 | 15.06 ± 1.7 | 10.48 ± 2.3 | 0.09 ± 0.07 | 11.88 ± 2.6 |
| PII | 12 ± 6.6 | 0.9 ± 0.4 | 13.98 ± 3.4 | 10.92 ± 3.1 | 0.12 ± 0.07 | 9.7 ± 2.2 |
| PIII | 13 ± 5.8 | 1.3 ± 0.4 | 15 ± 2.9 | 11.86 ± 2.3 | 0.1 ± 0.04 | 9.82 ± 2.6 |

| | | | | | | | |
|-------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| | | 0.6 | | 3.4 | | 1.4 | |
| PIV | 3.6 ± 1.6 | 1 ± 0.4 | 13.38 ± 1.1 | 10.02 ± 2.6 | < 0.02 | 9.7 ± 1.2 | |
| PV | 15.5 ± 6.9 | 1.3 ± 0.6 | 13.66 ± 1.9 | 10.98 ± 2.3 | 0.11 ± 0.05 | 10.46 ± 2.5 | |
| Valor medio | 11.52 | 1.14 | 14.22 | 10.85 | 0.10 | 10.31 | |
| DE (1σ) | 4.61 | 0.18 | 0.77 | 0.68 | 0.01 | 0.93 | |
| Mediana | 13 | 1.2 | 13.98 | 10.92 | 0.11 | 9.82 | |
| Máx. | 15.5 | 1.3 | 15.06 | 11.86 | 0.12 | 11.88 | |
| Mín. | 3.6 | 0.9 | 13.38 | 10.02 | 0.09 | 9.7 | |
| CEQG | ISQG | 5.9 | 0.6 | 37.3 | 35.7 | 0.17 | 35 |
| | PEL | 17 | 3.5 | 90 | 197 | 0.49 | 91.3 |

Fuente: elaboración propia.

Comportamiento social de los actores locales

Los testimonios representativos de los actores locales con base en las entrevistas procesadas en el *software Atlas.ti 8* se muestran en la Tabla 4, donde se presentan las expresiones del comportamiento social de los

actores, agrupadas en cuatro subcategorías de análisis relacionadas con la calidad de agua del río, causas, efectos de los contaminantes y expectativas sobre la minería en Cojata.

Tabla 4. Testimonio de los actores locales.

| Subcategorías de análisis | Citas representativas (testimonios) |
|----------------------------------|---|
| Calidad de agua del río | <ol style="list-style-type: none"> 1. El agua del río que consumen los animales y nosotros mismos está totalmente contaminada, porque el color del agua es chocolate, y eso deja embarrados a todos los bofedales y esto es lo que consumen nuestros animales, causándoles fiebre y diarrea hasta que los lleva a la muerte. 2. La contaminación se encuentra en el agua, ahí están diferentes sustancias como mercurio, aceite quemado y aguas turbias, que afectan a los animales y los seres humanos 3. No tengo conocimiento de los materiales o sustancias que utilizan los mineros, sólo viene agua turbia |
| Causas: minería | <ol style="list-style-type: none"> 1. Los contaminantes que utilizan los mineros son el mercurio, aceite quemado de maquinarias pesadas, plásticos, y no cuentan con plantas de |

| | |
|--|--|
| <p>informal</p> | <p>sedimentación de lama ni de residuos sólidos</p> <p>2. Estos contaminantes, como el mercurio, se encuentran en el agua, en la tierra, en los pastos y eso toman y comen las alpacas, y por eso están contaminadas las alpacas</p> <p>3. Los mineros informales son quienes realizan esta actividad fuera del marco normativo; según ellos, la ley de comunidades los ampara para hacer uso legal de la superficie, sin tomar en cuenta el estudio del ambiente o estudios técnicos para la extracción del oro</p> |
| <p>Efectos de los contaminantes</p> | <p>1. La contaminación afecta diferentes cosas, como el agua, aire, tierra, plantas y animales; todo el río Suches está contaminado por causa de la minería informal, desarrollado por los hermanos bolivianos que trabajan en la frontera realizando diferentes actividades, desde lavado de maquinarias hasta la extracción del oro</p> <p>2. La contaminación se encuentra en el agua, ahí están diferentes sustancias como mercurio, aceite quemado y aguas turbias que afectan a los animales y los seres humanos</p> <p>3. Los mineros que trabajan en la parte alta o</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>frontera de Bolivia eliminan aguas contaminadas; también realizan actividades comerciales, creando focos infecciosos por toneladas de basura orgánica e inorgánica</p> <p>4. El agua del río que consumen los animales y nosotros mismos está totalmente contaminada, porque el color del agua es chocolate y eso deja embarrados a todos los bofedales y esto es lo que consumen nuestros animales, causándoles fiebre y diarrea hasta que los lleva a la muerte</p> |
| <p>Expectativas sobre la minería en Cojata</p> | <p>1. Lo bueno de la minería es que genera empleo para los habitantes que viven cerca de esos trabajos. La ganadería no podría sostener los gastos familiares, por lo tanto, buscamos otros medios para obtener el ingreso. Por eso, sería bueno que algunas empresas peruanas que trabajan informalmente se formalicen para poder extraer los minerales, cumpliendo todas las normas medioambientales</p> <p>2. Hay muchos hermanos de Cojata que trabajan en la minería porque la producción o crianza de alpacas no rinde económicamente; muchos jóvenes trabajan en la minería. Por eso, sólo pedimos que estos centros mineros no</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>trabajen cerca de las orillas del lago Suches, y que trabajen respetando las normas técnicas medioambientales</p> <p>3. La minería trabaja irregularmente, pero si ellos se formalizaran podrían beneficiar a la población; además, estas mineras están utilizando nuevas formas de extracción, como el proceso de cianuración, que tiene mayor presión para la absorción del oro</p> <p>4. No existe ninguna expectativa en la mejora del distrito de Cojata; cada poblador trabaja en lo que puede y no existe empleo ni apoyo de las instituciones</p> |
|--|--|

Fuente: elaboración propia con base en las entrevistas, grupo focal y observación directa.

Todos los actores locales entrevistados y quienes participaron en el grupo focal, por consenso, sostienen que la minería informal que se desarrolla en la cabecera de la cuenca del río Suches genera contaminación ambiental en el distrito de Cojata. Ante esta situación, los actores expresan su rechazo a este tipo de minería; sin embargo, opinan que la formalización y el respeto por las normas técnicas ambientales podría beneficiar tanto a la actividad minera como a la población de la zona.

Discusión

El análisis de parámetros fisicoquímicos en el agua del río Suches indica que, en general, los valores de pH, temperatura, CE y el potencial óxido-reducción se encuentran en condiciones normales considerando este tipo de cuerpo acuático (Donaires-Flores, 2017; Iltis & Carmouze, 2003). Las variaciones que dieron lugar a los rangos de los valores reportados pudieron deberse a las precipitaciones fluviales correspondientes al tiempo de monitoreo. La presencia de agua turbia observada en los puntos PII y PIII estaría asociada con causas naturales y antrópicas, que incrementa la cantidad de sedimentos en suspensión.

Es importante destacar que los ríos tributarios y bofedales ubicados después de PII condicionan las características del río en PIII, PIV y PV.

Los metales analizados en el agua mostraron la tendencia $Cu > Cr > As > Pb$. El cobre es el metal que presenta mayores concentraciones en casi todos los puntos de muestreo con respecto a otros metales en

agua, probablemente debido a procesos naturales asociados con la meteorización de rocas en la zona de estudio, cuya composición mineralógica intercala localmente vulcanitas (CuTe) cubiertas por una cadena de depósitos fluviales, fluvioglaciares y glaciales; estos últimos definen la morfología de la zona (INGEMMET, 2009).

Debido a la poca variabilidad de la concentración de Cu en sedimentos, los resultados de la Tabla 3 confirmarían que la presencia de este metal podría deberse a causas naturales, favoreciendo la homogeneidad de su distribución en la zona de estudio. Asimismo, los metales Cu y Cr suelen formar complejos fuertes por la presencia de materia orgánica (sustancias húmicas) en los sedimentos y se liberan después de la degradación de los compuestos orgánicos u oxidación de sulfuros a sulfatos (Botsou, Sungur, Kelepertzis, & Soylak, 2016; Kelepertzis, Botsou, Patinha, Argyraki, & Massas, 2018).

Existen variaciones importantes respecto a las concentraciones de As, Cr y Pb en agua correspondientes a PI y PII, respectivamente. Esto manifestaría que antes del punto PII serían colectados residuos mineros constituidos principalmente por descargas de relaves, materiales estériles propios de las actividades extractivas e incluso residuos con carga de materia orgánica. Estas descargas pueden contener partículas de metales o metaloides solubles en agua, favoreciendo su estabilidad y transportabilidad dependiendo de la composición de las partículas y las condiciones ambientales (Langman, Behrens, & Moberly, 2020).

As es un metaloide comúnmente asociado con depósitos de minerales metálicos como la arsenopirita (FeAsS), la cual tiene abundante presencia de acuerdo con estudios geológicos y mineralógicos de la zona (MINAM, 2014). Debido a que As presenta una importante carga de concentración en agua a partir de PII, es posible que su liberación en el agua esté relacionada con la extracción y el procesamiento de estos minerales, los cuales aplican el método de lavado y separación del material removido, con el fin de extraer valioso el metal (Mamani-Matamet & Marcos-Bonotto, 2019; Villegas *et al.*, 2012).

En el punto PI, la concentración de Pb es la más baja ($0.58 \mu\text{g l}^{-1}$); sin embargo, el promedio de concentración en PII es de $5.45 \mu\text{g l}^{-1}$, disminuyendo hasta $1.95 \mu\text{g l}^{-1}$ en PV; este comportamiento de concentración se puede atribuir a la presencia de Pb en el drenaje ácido de minas (Vieira, Rodriguez, De-Paula, Braga, & Simões, 2020). Debido a su alta densidad, el Pb tiende a depositarse en sedimentos, ocupando rápidamente la superficie de área de estas partículas (Eid & Zawia, 2016), por lo que se observa un patrón de distribución homogéneo generado por la mayor fuerza de arrastre del agua en épocas de avenidas y mayor escurrimiento superficial (Belizario, Capacoila, Huaquisto, Cornejo, & Chui, 2019).

La mezcla de partículas cristalinas puede ser la causa de la presencia de Cd en el río Suches (MINAM, 2014). Donaires-Flores (2017) desestimó los valores de cadmio encontrados para la

determinación de la calidad del agua en el río Suches, considerándolos como despreciables.

La presencia de Hg en sedimentos se atribuiría al uso de este elemento para hacer una amalgama con oro como técnica de recuperación del mineral; sin embargo, en este estudio las concentraciones de mercurio no superan las concentraciones mínimas consideradas por las diferentes normativas. En un estudio anterior sobre la concentración de mercurio en la cuenca del río Ramis, un importante tributario del lago Titicaca, concluye que la exposición residual y acumulación de mercurio en grandes extensiones aguas abajo de zonas históricas de minería es hasta cinco veces mayor que en zonas adyacentes impactadas sólo por la intemperie natural y la deposición atmosférica (Gammons *et al.*, 2006); ello sugiere que la disposición de este metal podría estar también aguas abajo en el caso del río Suches. Precisamente es en el punto V en donde la concentración de metales evidencia variaciones importantes, siendo mayores a las concentraciones de los puntos anteriores.

Es notable que la concentración promedio de todos los metales analizados sea mayor en sedimentos que en agua. Los posibles mecanismos de atenuación de metales incluyen la adsorción sobre arcillas u otras superficies sólidas, precipitación mineral o coprecipitación y absorción biológica. Se puede esperar que gran parte de esta carga de metal atenuada se transporte aguas abajo durante eventos de alto flujo (Gammons *et al.*, 2006).

Respecto al comportamiento social de los actores locales, expresado en sus sentimientos, ideas, actitudes críticas y reflexivas (Weber, 2002), ejercen la acción comunicativa (Habermas, 1999), cuestionando la calidad de agua, pues sostienen que hay contaminación evidenciada en la turbidez del agua, en la mortandad de alpacas y en otros problemas de salud comunitaria. Este comportamiento social de los actores comunales estaría dando cuenta de la presencia de metales pesados en las aguas del río Suches, cuyo consumo estaría afectando tanto la vida humana como animal y vegetal (Aliu, Aliu, Mustafi, & Kamberi, 2011; Chibuike & Obiora, 2014); asimismo, estaría generando variadas enfermedades internas (Roman *et al.*, 2013). Según Álvarez-Rodríguez, Rodríguez-Avelló y Pantoja-Timarán (2005), el uso de metales pesados como el mercurio en la extracción del oro, al no disponer de medidas de seguridad, genera inevitablemente la contaminación de los ríos, los suelos, e incluso, de los trabajadores. En este sentido, Betancur-Corredor, Loaiza-Usuga, Denich y Borgemeister (2018) afirman que las actividades de extracción de oro pueden generar más contaminación y degradación ambiental, lo que representaría una amenaza para los ecosistemas naturales y la salud de las comunidades que viven en esas zonas.

Esta situación, en Cojata, se habría producido a raíz de las actividades mineras informales en el proceso de explotación del oro por parte de los mineros, tanto bolivianos como peruanos, lo que según Salazar (2014) estaría relacionado con la idea de la propiedad ancestral y el derecho sobre la tierra y el subsuelo que los mineros aducen

poseer, y por lo que tendrían la facultad de explotarla libremente, generando actitudes y comportamientos de rechazo de los actores locales hacia la minería informal e ilegal. Esta realidad, para González-Rey (2019), fortalecería el escepticismo y la desconfianza de los actores sociales comunales por una errática respuesta estatal, que todavía no encuentra salida a su incapacidad para coadyuvar a la profundización de la democracia, vía el reconocimiento de los actores sociales subalternos, no logrando alcanzar los objetivos y metas para la ampliación de plazos en el proceso de formalización minera que garantice mejores prácticas ambientales (Valdés *et al.*, 2014).

No obstante, a pesar del sentimiento de rechazo que expresan los actores locales, ellos también identifican el lado positivo de la minería, pues tal actividad genera empleo para algunos habitantes de la zona o, como sostienen Cusiynca y Morante (2019), mientras por un lado las expectativas de vida están enfocadas en la continuidad de una educación superior y la migración a otras ciudades, en otros casos están dirigidos a la empleabilidad juvenil en actividades afines o no a la extracción del oro como condición previa para solventar su posible tránsito a la educación superior y su posterior establecimiento de una residencia o vivienda en una determinada ciudad. Por ello, los actores locales de Cojata refieren la necesidad de que las actividades mineras se formalicen y se respeten las normas ambientales. Carmona-García, Cardona-Trujillo y Restrepo-Tarquino (2017) sostienen que las herramientas de gestión

ambiental y la producción más limpia aportan en la reducción de los impactos ambientales durante el ciclo de vida de la actividad minera.

Con base en el análisis del comportamiento social y las características del ámbito de estudio, existe la necesidad de que las actividades mineras se formalicen, cumpliendo con las normativas ambientales. Estos cambios podrían ajustarse de forma bilateral mediante la mejora de las herramientas de sistemas de gestión ambiental y la implementación de tecnologías limpias que reduzcan los impactos ambientales de las actividades mineras.

Conclusiones

Se ha evidenciado que hay una variación considerable en las concentraciones de metales pesados en agua y sedimentos del río Suches. Las concentraciones de los metales pesados en agua disminuyen en función al recorrido del cauce, siendo $Cu > Cr > As > Pb$ los que se encuentran por debajo de los ECA-categoría 3 para agua. En sedimentos, las concentraciones de metales pesados son variables a lo

largo del trayecto del río; sin embargo, As y Cd sobrepasan el ISQG en la mayoría de los puntos. La presencia de metales podría deberse, principalmente, a la explotación minera de yacimientos secundarios de origen morrénico, donde se utilizan tecnologías tradicionales para la extracción del oro, así como a la composición mineralógica y meteorización de rocas en la zona de estudio.

El análisis del comportamiento social de los actores locales de Cojata indica que asocian la turbidez del agua con las descargas de los procesos mineros, atribuyendo la mala calidad del agua a la presencia de mercurio, lo que afectaría la vida animal, vegetal y humana cercana a la zona. Los testimonios de los actores locales expresaron el rechazo a la práctica de minería informal e ilegal en la zona, por lo cual demandan la formalización de las operaciones mineras y el cumplimiento de las normativas que contribuyan a reducir los impactos ambientales; sin embargo, también logran identificar el lado positivo de la minería, pues esta actividad genera empleo para algunos habitantes del distrito.

En términos generales, los estudios fisicoquímicos coinciden con el comportamiento social de los actores locales de Cojata sobre la alteración de la calidad del agua del río Suches debido a la presencia de metales pesados; sin embargo, el mercurio no sería el principal causante de los impactos generados por las actividades mineras en Cojata, sino otros metales, como As, Cd y Cu.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno por el financiamiento otorgado al Instituto de Investigación en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente, aprobado con Resolución Rectoral N° 3292-2018-R-UNA y el contrato de financiamiento N° 04-2019-DII-VRI-UNA-PUNO. También agradecen al Proyecto Concytec – Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora ProCiencia [contrato número 01-2018] y Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno por el apoyo brindado para la ejecución de este trabajo. Finalmente, extendemos nuestro reconocimiento a ALS Corplab-Arequipa, por su asistencia especializada en el análisis de las muestras.

Referencias

- Ali-Khan, A., Tobin, A., Paterson, R., Khan, H., & Warren, R. (2005). Application of CCME Procedures for deriving site-specific water quality guidelines for the CCME Water Quality Index. *Water Quality Research Journal of Canada*, 40. Recuperado de <https://iwaponline.com/wqrj/article-pdf/40/4/448/229970/wqrjc0400448.pdf>
- Aliu, A., Aliu, S., Mustafi, M., & Kamberi, Z. (2011). Environmental pollution in the river Koselska, law, economic and social aspects.

- The 2nd International Geography Symposium Geomed*, 19, 462-466. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.155>
- Allones-Pérez, C. (2005). Teoría de la acción social: propuesta de un método. *Revista de Investigaciones Políticas y Sociológicas*, 4(2), 57-68.
- Alvarez-Rodríguez, R., Rodríguez-Avelló, A. S., & Pantoja-Timarán, F. (2005). Methods to reduce mercury pollution in small gold mining operations. *Revista de Metalurgia*, 41(3), 194-203. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1255923>
- ANA, Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Autoridad Nacional del Agua.
- ANA, Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Clasificación de cuerpos de agua continentales superficiales*. Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Autoridad Nacional del Agua.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (January 17, 2020). *ATSDR's Substance Priority List*. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html>
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2006). *Toxicological profile: Cyanide*. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=72&tid=19>
- Belizario, G., Capacoila, J., Huaquisto, E., Comejo, D. A., & Chui, H. N. (2019). Determinación del contenido de fósforo y arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del río

- Coata, afluentes del lago Titicaca, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 36(5), 223-228. Recuperado de <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.5.4>
- Betancur-Corredor, B., Loaiza-Usuga, J. C., Denich, M., & Borgemeister, C. (October 20, 2018). Gold mining as a potential driver of development in Colombia: Challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 199, 538-553. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.142>
- Botsou, F., Sungur, A., Kelepertzis, E., & Soylak, M. (2016). Insights into the chemical partitioning of trace metals in roadside and off-road agricultural soils along two major highways in Attica's region, Greece. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 132, 101-110. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.05.032>
- Buxton, S., Garman, E., Heim, K. E., Lyons-Darden, T., Schlekot, C. E., Taylor, M. D., & Oller, A. R. (2019). Concise review of nickel human health toxicology and ecotoxicology. *Inorganics*, 7(7), 89. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/inorganics7070089>
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (1995). *Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME EPC-98E. Prepared by Environment Canada, Guidelines Division, Technical Secretariat of the CCME Task Group on Water Quality Guidelines, Ottawa. Reprinted in Canadian environmental quality guidelines, Chapter 6, Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999.*

- Winnipeg, Canada: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Carmona-García, U., Cardona-Trujillo, H., & Restrepo-Tarquino, I. (2017). Gestión ambiental, sostenibilidad y competitividad minera. Contextualización de la situación y retos de un enfoque a través del análisis del ciclo de vida. *DYNA* (Colombia), 84(201), 50-58. Recuperado de <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.60326>
- Chapin, F. S., Folke, C., & Kofinas, G. P. (2009). A framework for understanding change. In: *Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World* (pp. 3-28). Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-0-387-73033-2_1
- Chau, Y. K., & Kulikovsky-Cordeiro, O. T. (1995). Occurrence of nickel in the Canadian environment. *Environmental Reviews*, 3(1), 95-120. Recuperado de <https://doi.org/10.1139/a95-004>
- Chibuike, G. U., & Obiora, S. C. (2014). Heavy metal polluted soils: Effect on plants and bioremediation methods. *Applied and Environmental Soil Science*, 2014, 752708. Recuperado de <https://doi.org/10.1155/2014/752708>
- Cusiyunca, A., & Morante, V. (2019). *Expectativas de vida de estudiantes en un contexto de minería informal en la Amazonía de Cusco, Perú*. Recuperado de https://www.researchgate.net/Alex_Cusiyunca
- Dogaru, D., Zobrist, J., Balteanu, D., Popescu, C., Sima, M., Amini, M., & Yang, H. (2009). Community perception of water quality in a

- mining-affected area: A case study for the Certej Catchment in the Apuseni Mountains in Romania. *Environmental Management*, 43, 43, 1131-1145. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9245-9>
- Donaires-Flores, T. (2017). Modeling of Suches River contamination using water quality indexes, Puno-Peru. *Weber Earth Science & Environmental Engineering*, 3(1), 1-8. Recuperado de <http://www.weberpub.org/wesee.htm>
- DRA Puno, Dirección Regional Agraria de Puno. (2016). *Síntesis agraria*. Recuperado de https://www.agropuno.gob.pe/files/estadistica/sintesis/sintesis_agrario_08_2017.pdf
- Eid, A., & Zawia, N. (2016). Consequences of lead exposure, and it's emerging role as an epigenetic modifier in the aging brain. *Neurotoxicology*, 56(2015), 254-261. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.04.006>
- EPA, Environmental Sampling and Analytical Methods (ESAM Program). (2014). *Method 6020B inductively coupled plasma-mass spectrometry*. Cincinnati, USA: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA, Environmental Sampling and Analytical Methods (ESAM Program). (2007). *EPA Method 7471B (SW-846): Mercury in solid or semisolid wastes (manual cold-vapor technique)*. Cincinnati, USA: U.S. Environmental Protection Agency.

- EPA, Environmental Sampling and Analytical Methods (ESAM Program). (1996). Method 3050B Acid digestion of sediments, sludges, and soils 1.0 scope and application. Cincinnati, USA: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA, Environmental Sampling and Analytical Methods (ESAM Program). (1991). Methods for the determination of metals in environmental samples. Cincinnati, USA: U.S. Environmental Protection Agency.
- Flores, C. M., Del-Angel, E., Frías, D. M., & Gómez, A. L. (2018). Evaluation of physicochemical parameters and heavy metals in water and surface sediment in the Ilusiones Lagoon, Tabasco, Mexico. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(2), 39-57. Recuperado de <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-02>
- Gammons, C. H., Slotton, D. G., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C. A., McNearny, R. L., ... & Tapia, H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru. *Science of The Total Environment*, 368(2-3), 637-648. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2005.09.076>
- Genthe, B., Kapwata, T., Le-Roux, W., Chamier, J., & Wright, C. Y. (2018). The reach of human health risks associated with metals/metalloids in water and vegetables along a contaminated river catchment: South Africa and Mozambique. *Chemosphere*, 199, 1-9. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.160>

- González, J., & Aparicio, M. (2009). Aprendiendo a adaptarnos al cambio climático en los ámbitos locales: una experiencia de adaptación a nivel local en las regiones de montaña de Bolivia. *Tecnología y Sociedad*, 16(8), 54-64.
- González-Rey, F. (2019). *La subjetividad y su significación para el estudio de los procesos políticos: sujeto, sociedad y política*. Bogotá, Colombia: CLACSO – Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Habermas, J. (1999). *Teoría de la acción comunicativa, I. Racionalidad de la acción y racionalización social*. Madrid, España: Taurus Humanidades.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). México, DF, México; McGraw-Hill / Interamericana Editores. Recuperado de <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx>
- Hilson, G. M. (2005). *The socio-economic impacts of artisanal and small-scale mining in developing countries*. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=yEJ5AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=sociological+of+mine+metal+pollution&ots=ncVKKiQFU1&sig=WrdzAWSfnMwIJ-aFUMyP8fD_8LI#v=onepage&q=sociological of mine metal pollution&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=yEJ5AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=sociological+of+mine+metal+pollution&ots=ncVKKiQFU1&sig=WrdzAWSfnMwIJ-aFUMyP8fD_8LI#v=onepage&q=sociological%20of%20mine%20metal%20pollution&f=false)
- Himley, M. (2014). Monitoring the impacts of extraction: Science and participation in the governance of mining in Peru. *Environment*

- and Planning A: Economy and Space*, 46(5), 1069-1087.
Recuperado de <https://doi.org/10.1068/a45631>
- Hodges, C. A. (1995). Mineral resources, environmental issues, and land use. *Science*, 268(5215), 1305-1312. Recuperado de <https://doi.org/10.1126/science.268.5215.1305>
- Huanca, T., Apaza, N., & Lazo, A. (2007). Evaluación del diámetro de fibra en alpacas de las comunidades de los distritos de Cojata y Santa Rosa-Puno. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 2(1) 1-8.
- Iltis, A., & Carmouze, J. (2003). *El lago Titicaca: síntesis del conocimiento actual*. Cusco, Perú: HISBOL.
- Iltis, A., Carmouze, J., & Lemoalle, J. (1991). *El Lago Titicaca, síntesis del conocimiento limnológico actual*. La Paz, Bolivia: HISBOL..
- INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Censos nacionales 2017*. Recuperado de <https://www.inei.gov.pe>
- INGEMMET, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2009). *Inventario y situación legal de las operaciones y concesiones mineras ubicadas en la cuenca del río Suches (Perú-Bolivia)*. Recuperado de <https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/177527/Asistencia+técnica+a+la+minería+de+pequeña+escala>
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M., & Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a

- developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282-291. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>
- Jain, R. K., Kapur, M., Labana, S., Banwari, L., & Sarma, P. M. (2005). Microbial diversity: Application of microorganisms for the biodegradation of xenobiotics. *JSTOR*, 89. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/24110436?seq=1>
- Kelepertzis, E., Botsou, F., Patinha, C., Argyraki, A., & Massas, I. (2018). Agricultural geochemistry in viticulture: An example of Cu accumulation and geochemical fractionation in Mediterranean calcareous soils (Nemea region, Greece). *Applied Geochemistry*, 88, 23-39. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.04.013>
- Laffaye, G. J. (2013). Tiempo, significación y memoria en la fenomenología social de Alfred Schutz. *Pilquen-Sección Ciencias Sociales*, 16(1), 1-13.
- Langman, J. B., Behrens, D., & Moberly, J. G. (2020). Seasonal formation and stability of dissolved metal particles in mining-impacted, lacustrine sediments. *Journal of Contaminant Hydrology*, 232, 103655. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103655>
- Liang, B., Han, G., Zeng, J., Qu, R., Liu, M., & Liu, J. (2020). Spatial variation and source of dissolved heavy metals in the Lancangjiang river, Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ijerph17030732>

- López, M. C. (1995). La sociofenomenología de A. Schütz: entre el constructivismo y el realismo. *Papers. Revista de Sociología*, 47, 55-74.
- Lorenc, F. (2014). Émile Durkheim y la teoría sociológica de la acción. *Andamios Revista de Investigación Social*, 11(26), 299-322.
- Lu, H., Li, H., Liu, T., Fan, Y., Yuan, Y., Xie, M., & Qian, X. (2019). Simulating heavy metal concentrations in an aquatic environment using artificial intelligence models and physicochemical indexes. *Science of the Total Environment*, 694, 133591. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133591>
- Lutz, B. (2010). La acción social en la teoría sociológica: una aproximación. *Argumentos*, 23(64), 199-218.
- MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., & Berger, T. A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(1), 20-31. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s002440010075>
- Mamani-Matamet, F. R., & Marcos-Bonotto, D. (2019). Sedimentation rates at Ramis River, Peruvian Altiplano, South America. *Environmental Earth Sciences*, 78(6). Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8233-0>
- McIntyre, N., Bulovic, N., Cane, I., & McKenna, P. (2016). A multi-disciplinary approach to understanding the impacts of mines on traditional uses of water in Northern Mongolia. *Science of the Total*

- Environment*, 557-558, 404-414. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.092>
- Milanez, B., & Puppim-de-Oliveira, J. A. (2013). Innovation for sustainable development in artisanal mining: Advances in a cluster of opal mining in Brazil. *Resources Policy*, 38(4), 427-434. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.07.003>
- MINAM, Ministerio del Ambiente. (2017). Estándares de calidad ambiental para agua. *El Peruano*, 6-9. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- MINAM, Ministerio del Ambiente. (2014). *Estudio del estado de la calidad ambiental de la cuenca del lago Titicaca*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/puno/wp-content/uploads/sites/55/2014/02/ESTUDIO-DEL-ESTADO-DE-LA-CALIDAD-AMBIENTAL-CUENCA-DEL-TITICACA.pdf>
- Molina, C. I., & Pouilly, M. (2016). *Mercurio en Bolivia: línea base de usos, emisiones y contaminación 2014, La Paz-Bolivia*. Recuperado de www.cancilleria.gob.bo
- Morales, D., Molares, S., Epele, L., Ladio, A., Manzo, P., & Alday, G. (2020). An interdisciplinary approach to perception of water quality for human consumption in a Mapuche community of arid Patagonia, Argentina. *Science of the Total Environment*, 720, 137508. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137508>

- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2006). *Preocupaciones en materia de salud y medio ambiente asociadas con los metales pesados: ¿Necesidad de una acción mundial ulterior?* Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- Paul, D. (2017a). Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review. *Annals of Agrarian Science*, 15(2), 278-286. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.04.001>
- Paul, J. (2017b). *Ecological and sociological implications of Tisza River Mine tailings pollution and effect of chronic cadmium exposure on fish physiology. Dissertations.* Recuperado de <https://opensiuc.lib.siu.edu/dissertations/1450>
- Pengli, C. (2008). The sociological research on “Minamata Disease” in Japan. *Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences)*. Recuperado de http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotál-HHZX200804011.htm
- Pino, E., Tacora, P., Steenken, A., Alfaro, L., Valle, A., Chávarri, E., ... & Mejía-Marcacuzco, J. A. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(6), 77-99. Recuperado de <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>
- Rahim, M. A. C. A., A/I Aproi, A., Shi, X., Liu, S., Ali, M. M., Yaacob, W. Z. W., & Mohamed, C. A. R. (2019). Distribution of chromium and gallium in the total suspended solid and surface sediments of Sungai Kelantan, Kelantan, Malaysia. *Sains Malaysiana*, 48(11),

- 2343-2353. Recuperado de <https://doi.org/10.17576/jsm-2019-4811-06>
- Rodriguez, M. B., & Ulanowicz, R. E. (2015). Water Culture requires fighting corruption and promoting many RRRRRs. *Weber Earth Science & Environmental Engineering*, 1(2), 1-4.
- Roman, M., Idrees, M., Ullah, S., Idrees, M., Sahib, N., & Roman, M. (2013). A sociological study of environmental pollution and its effects on the public health Faisalabad city. *International Journal of Education and Research*, 1(6). Recuperado de www.ijern.com
- Salazar, J. C. (2014). Tensiones entre la minería y el resto de sectores económicos en el contexto regional: estudios de caso sobre minería informal e ilegal. En: Ediciones Uniandes (ed.). *Insumos para el desarrollo del Plan Nacional de Ordenamiento Minero* (pp. 573-630). Recuperado de <http://ediciones.uniandes.edu.co>
- Sánchez-Infantas, E., & Quinteros-Carlos, Z. (2017). Pertinencia del concepto de estándar de calidad ambiental (ECA) en la gestión de sistemas ambientales con varios estados alternativos. Estudio de caso de una experiencia peruana. *Ecología Aplicada*, 16, 151.
- Santos-Frances, F., Martinez-Grana, A., Alonso-Rojo, P., & Garcia-Sanchez, A. (2017). Geochemical background and baseline values determination and spatial distribution of heavy metal pollution in soils of the Andes Mountain Range (Cajamarca-Huancavelica, Peru). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(8). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ijerph14080859>

- Toledo, U. (2007). Realidades múltiples y mundos sociales. Introducción a la socio-fenomenología. *Cinta de Moebio*, (30), 211-244.
- Topalián, M. L., Castañé, P. M., Rovedatti, M. G., & Salibián, A. (1999). Principal component analysis of dissolved heavy metals in water of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 63(4), 484-490. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s001289901006>
- Ural, S., & Demirkol, S. (2008). Evaluation of occupational safety and health in surface mines. *Safety Science*, 46(6), 1016-1024. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.11.010>
- Valdés, R., Basombrío, C., & Vera, D. (2014). *La minería no formal en el Perú*. Recuperado de www.eerp.usp.br/rlaehttp://dx.doi.org/10.1590/1518-8345.0000.2866
- Vieira, B. F., Rodriguez, R. P., De-Paula, E. C., Braga, J. K., & Simões, G. F. (2020). Sustainable treatment of real-mine drainage using crude glycerol and brewery waste as electron donors in a micro-aerobic system. *Journal of Water Process Engineering*, 36, 101297. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101297>
- Villegas, K. S., Alfonso, P., Higuera, P., Palacios, S., Esbrí, J. M., & García-Noguero, E. M. (2012). Environmental pollution produced by gold artisanal mining in the Mapiri river basin, Apolobamba, Bolivia. *European Mineralogical Conference*, 1(1), 1.

- Wang, Z., Qin, H., & Liu, X. (2019). Health risk assessment of heavy metals in the soil-water-rice system around the Xiazhuang uranium mine, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(6), 5904-5912. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3955-1>
- Weber, M. (2002). *Economía y sociedad. Esbozo de sociología comprensiva* (2da. reimp). Madrid, España: Fondo de Cultura Económica.
- Yi, L., Gao, B., Liu, H., Zhang, Y., Du, C., & Li, Y. (2020). Characteristics and assessment of toxic metal contamination in surface water and sediments near a Uranium mining area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ijerph17020548>
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A., & Gikas, G. D. (2020). Water quality evaluation of a lacustrine water body in the Mediterranean based on different water quality index (WQI) methodologies. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1710956>