

Anomalías geoquímicas: una revisión sistemática según el método prisma

Rosa Julia Medina Sandoval

rmedinas@unmsm.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0971-4352>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Lima-Perú

RESUMEN

El incremento de la actividad minera y la subsecuente contaminación han hecho necesario identificar las anomalías químicas en una región, conocer los factores que las ocasionan, entre otros aspectos que permitan su mejor estudio. Se planteó como objetivo, analizar las áreas de estudio de las anomalías geoquímicas a través de la revisión sistemática. Asimismo, posee enfoque cualitativo; y emplea la revisión sistemática, según la metodología Prisma. Además, se ha considerado como población: los artículos científicos en la base de datos Scopus, durante los años 2015-2022, que son de acceso abierto, que están publicados en idiomas inglés, español y portugués. La técnica empleada es el análisis documental y los instrumentos son las matrices de análisis individual y grupal, que fueron procesados con Atlas ti. Se encontraron 11 artículos que tenían los términos de anomalías químicas, en inglés y español, en el título de la investigación. Asimismo, dentro de los estudios se encontró que la combinación de los modelos BME y GWR, permiten una mejor metodología espacial y cartográfica para datos duros y blandos para el reconocimiento de las anomalías geoquímicas. De la misma manera, se encontró la existencia de modelos LSA, AE y OCSVM.

Palabras clave: anomalías geoquímicas; revisión sistemática; modelo BME; modelo GWR; método Prisma

Correspondencia: ciro. rmedinas@unmsm.edu.pe

Artículo recibido 26 diciembre 2022 Aceptado para publicación: 26 enero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Medina Sandoval , R. J. (2023). Anomalías geoquímicas: una revisión sistemática según el método prisma. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 1887-1903. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4531

Geochemical anomalies: a systematic review according to the Prisma method

ABSTRACT

The increase in mining activity and the associated pollution have made it necessary to identify the chemical abnormalities in a region and to know the factors that cause them, among other aspects that allow for a better investigation. The objective was to analyze the study areas of geochemical abnormalities through a systematic review. It also has a qualitative approach and uses the systematic review, according to the Prisma methodology. In addition, scientific articles in the Scopus database; during the years 2015-2022, which have open access, and were published in English, Spanish and Portuguese, have been considered as population. The technique used was documentary analysis, and the instruments were individual and group analysis matrices, which were processed with Atlas TI. Eleven articles containing the term chemical abnormalities were found as part of the research title, both in English and Spanish. Similarly, the combination of BME and GWR models allowed a better spatial and cartographic methodology for hard and soft data for the recognition of geochemical abnormalities. Similarly, the models LSA, AE, and OCSVM were found to be present.

Keywords: *geochemical anomalies; systematic review; BME model; GWR model; Prisma method.*

INTRODUCCIÓN

Los productos y servicios son necesarios en diversos sectores, como la ganadería, agricultura, salud, economía, política, social, minera, entre otros; aunque también pueden generar algún tipo de contaminación, comprometiendo de esta manera, los recursos naturales para las personas. En ese sentido, Peña y Araya (2021) refieren que cuando las aguas se contaminan por la acción minera estas pueden generar pérdidas de cosechas; a nivel ganadero, puede ser cuando los animales consumen agua contaminada pudiendo traer consigo envenenamientos (p. 9). Con relación a estos contaminantes y al efecto de los metales pesados, Herrera y Millones (2011) afirman que puede existir contaminación por el “cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, la plata y el zinc, contenidos en las rocas removidas, entran en contacto con el agua” (p. 29), pudiendo generar consecuencias en la salud de las personas, plantas, animales o en los mismos ecosistemas. En ese mismo sentido, Dusengemungu et al. (2022) refieren en una investigación en Zambia que las concentraciones de Cu y Co causan síntomas como clorosis y necrosis, atrofia foliar, decoloración e inhibición del crecimiento de raíces, así como un lento crecimiento de la planta de frijol.

Alcívar (2015, p. 8, citado en Vilela-Pincay et al., 2020), refiere que en Zaruma y Portavelo (Ecuador), el oro es extraído con procesos que contienen cianuro y mercurio, ocasionando un 19.45% de contaminación en el agua en la provincia de El Oro. De la misma manera, Román-Ochoa et al. (2021), en Perú, develaron la existencia de altas concentraciones de metales pesados como, cadmio, arsénico en los cereales de grano; mientras que, estaño, plomo y mercurio en la quinua, maíz y arroz, considerando tres distritos populares del departamento de Arequipa, que estaban por encima de la norma técnica del Codex.

Dicho escenario precisa la necesidad de conocer sobre las anomalías geoquímicas y que éstas no necesariamente dependen de un factor, por ejemplo, por la dispersión del petróleo (Guo et al., 2019, p. 83). De manera adicional, por aspectos de la contaminación, transformaciones geológicas, entre otras. Asimismo, Quispe (2021) refiere que estas son “variaciones de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico” (p. 2).

Los aspectos antes mencionados son los que nos llevan a plantear como pregunta de investigación ¿Cuáles son las áreas de estudio de las anomalías geoquímicas, según la revisión sistemática de la metodología Prisma en la base de datos Scopus, 2015-2022? Sobre ello, Urrútia y Bonfill (2010) refieren que la metodología Prisma (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses, cuya traducción al español sería *Elementos de informe preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis*), permite mejorar la forma de publicar las revisiones sistemáticas.

METODOLOGÍA

Por otro lado, la investigación posee enfoque cualitativo porque analiza datos como la “descripción de las cualidades del hecho o fenómeno” (Escudero y Cortez, 2018, p. 22), que en nuestro caso es describir los objetivos, los resultados y conclusiones de las anomalías geoquímicas. Se empleará como método la revisión sistemática, que incluye objetivos claros, métodos claros y reproducibles, búsqueda rigurosa para obtener los estudios, evaluación interna de los hallazgos y una presentación de los resultados obtenidos (Clarke, 2011, p. 64). Asimismo, Manterola et al. (2013, p. 150) refieren que la existencia de etapas para la revisión sistemática: la primera etapa, formulación del problema; la segunda, la localización y selección de los estudios primarios; la tercera, la evaluación de la calidad metodológica; la cuarta, la extracción de los datos; y la quinta, la realización del análisis presentación de los resultados.

Con relación a la etapa de *formulación del problema*, hicimos el planteamiento del problema general. En una segunda etapa, se procedió a la localización y selección de estudios primarios, seleccionando los siguientes motores de búsqueda: *geochemical anomalies* así como *geochemical AND anomalies*. De la misma manera, para la selección de la población, se han considerado criterios de inclusión e exclusión a lo que Blanco et al. (2020) refieren que están conformados por una serie de criterios, considerando para ello, la “naturaleza del estudio y sus necesidades” (p. 4). En ese sentido, se han aplicado filtros para el periodo de publicaciones, estados de la publicación, tipos de publicación, idiomas, tipos de documento, fuentes de información y etapa de publicación, que son visibles en la Tabla 1.

Tabla 1*Filtros empleados en la base de datos Scopus*

Criterios	Especificidad
Periodo de publicaciones	2015 -2022
Estado de la publicación	Publicado
Tipos de publicación	Open Access que traducido son los estudios de acceso libre
Idiomas	Inglés, español y portugués
Tipos de documento	Artículos científicos
Fuentes de información	Base de datos Scopus
Etapas de publicación	Final

Nota. Elaborado con base a Blanco et al. (2020) y a las necesidades de nuestra investigación.

De tal manera, que la población está conformada por los artículos publicados, es decir, son estudio de estudios, según Manterola et al. (2013, p. 150). Con relación a los *criterios de análisis* empleados en los artículos, se ha considerado el tipo de estudio, los objetivos, diseños, resultados y conclusiones de las anomalías geoquímicas. Además, los mismos autores expresan que para la tercera etapa se considera la evaluación de la calidad metodológica, que consiste en evaluar la validez interna que poseen las publicaciones, así como cualquier sesgo que pudiese existir (p. 151). En la cuarta etapa se considera la extracción de datos, que se realiza a través de plantillas o matrices; y en la quinta etapa, se realizó el análisis y presentación de los resultados, (p. 152), refiriendo el empleo del programa Atlas ti en su versión 22. En la sexta etapa se consideró la presentación de los resultados, mediante un proceso de sistematización.

Asimismo, la técnica empleada fue el análisis documental, se empleó la matriz de análisis individual para cada documento de análisis. Así, cada documento tuvo un código, por ejemplo, DO1, será el primer documento; DO2 para el segundo y así sucesivamente. De forma posterior, una vez que se completó la información sobre las matrices se trasladó la información a la matriz de análisis grupal. Asimismo, dichos instrumentos, fueron parte de la carpeta de validación enviada a cuatro profesionales expertos en el área de Geología, obteniendo una puntuación de 95 sobre 100.

RESULTADOS

Se presentará dos secciones de resultados, con la finalidad de comunicar los resultados de pkm manera más eficiente y ordenada. Una de ellas, posee como objetivo proporcionar una visión amplia de la distribución temporal de los estudios encontrados; mientras que, la segunda describirá los principales tópicos encontrados sobre las anomalías geoquímicas. Con relación a la primera sección, se precisa que los resultados de la búsqueda de artículos en la base de datos Scopus se realizó de junio a septiembre del 2022, considerando los filtros anteriormente mencionados y dando como resultados: 1194. Después de haber visto ellos, se procedió a ubicar las palabras anomalías geoquímicas en los títulos de los trabajos de investigación, dando como resultado 11 artículos. El resumen de dicha búsqueda en la Tabla 2.

Tabla 2

Lista de artículos científicos seleccionados

Doc.	Autores	Título
DO1	Li, B., Zhang, F., Liao, J., Li, B., Zhuang, X., Querol, X., Moreno, N., Shangguan, Y.	Geological Controls on Geochemical Anomaly of the Carbonaceous Mudstones in Xian'an Coalfield, Guangxi Province, China
DO2	Wang, J., Zuo, R.	Model averaging for identification of geochemical anomalies linked to mineralization
DO3	Wang, H., Yuan, Z., Cheng, Q., Zhang, S., Sadeghi, B.	Geochemical anomaly definition using stream sediments landscape modeling
DO4	Wang, H., Yuan, Z., Cheng, Q., Zhang, S.	Incorporation of geological constraints into geochemical anomaly identification using BME-GWR: A case study from Inner Mongolia of China
DO5	Hung, K.T.	Identification of geochemical anomalies associated with Sn-W mineralization in the Dong Van region, North-Eastern Vietnam, using statistical methods
DO6	Ghasemzadeh, S., Maghsoudi, A., Yousefi, M., Mihalasky, M.J.	Information value-based geochemical anomaly modeling: A statistical index to generate enhanced geochemical signatures for mineral exploration targeting
DO7	Wu, B., Li, X., Yuan, F., Li, H., Zhang, M.	Transfer learning and siamese neural network based identification of geochemical anomalies for mineral

		exploration: A case study from the Cu-Au deposit in the NW Junggar area of northern Xinjiang Province, China
DO8	Dominech, S., Yang, S., Aruta, A., Gramazio, A., Albanese, S.	Multivariate analysis of dilution-corrected residuals to improve the interpretation of geochemical anomalies and determine their potential sources: The Mingardo River case study (Southern Italy)
DO9	Wang, X., Cawood, P.A., Zhao, H., Zhao, L., Grasby, S.E., Chen, Z.-Q., Wignall, P.B., Lv, Z., Han, C	Mercury anomalies across the end Permian mass extinction in South China from shallow and deep water depositional environments
DO10	Racki, G., Marynowski, L., Rakociński, M.	Anomalous upper devonian mercury enrichments: Comparison of inductively coupled plasma – Mass spectrometry (ICP-MS) and atomic absorption spectrometry (AAS) analytical data
DO11	Sechman, H., Góra, A., Twaróg, A., Guzy, P., Górska-Mruk, E., Górecki, W.	Near-surface geochemical anomalies integrated with seismic and well data over the contact of the outer carpathians and the carpathian foredeep (SE Poland)

De un total de 11 artículos, se encontró que tres de ellos fueron publicados en la revista Ore Geology Review; con relación a la temporalidad, ocho de ellos fueron publicados el año 2022; y existe una predominancia de siete investigaciones de China, dos de Italia, una de Polonia y una de Irán. Asimismo, los 11 artículos están en idioma inglés. En lo que respecta a las áreas temáticas de estudio, se colocaron los autores de los documentos hallados, ello para respetar las normas de citación y de manera adicional se presentaron con la codificación empleada en la tabla anterior, es decir, como DO1 para el primer documento, DO2 para el segundo documento, y así sucesivamente.

En un primer momento se encontraron *estudios sobre anomalías geoquímicas del período Pérmico*. Con relación a ello, Li et al. (2022), (DO1), encontraron la existencia de elementos de tierras raras e itrio (REY) que se encuentran localizados en minerales de arcilla, circón y monazita; entre el Mo, U y V. Se encontró que la invasión del agua de mar es un posible generador de anomalías geoquímicas, pues genera un mayor contenido de S, Co, Ni, As y Se. Asimismo, X. Wang et al. (2018), (DO9), encontraron dentro de los

resultados que en el registro de extinción en el sur de China, muestra valores elevados (hasta 900 ppb/wt.% en relación con un fondo de < 100 ppb/wt.%) que coincide exactamente con el horizonte de extinción masiva del final del Pérmico.

Existe un interés de la comunidad científica para *indagar el mejor método para identificar los Modelos de las anomalías geoquímicas de los sedimentos*. Así, que H. Wang et al., (2022), (DO3), realizaron una investigación que tuvo como conclusión que el Modelo BME-GWR proporciona una nueva metodología espacial y cartográfica para incluir datos duros y blandos en el proceso de ubicación de anomalías geoquímicas. De la misma manera, H. Wang, Yuan, Cheng, y Zhang (2022), (DO4), realizaron una investigación en Jining (en el centro de Mongolia, China) para generar mapas de anomalías geoquímicas, considerando las limitaciones geológicas. Considerándose que la GWR produce la media y la varianza de los datos blandos de probabilidad basados en restricciones geológicas; mientras que, la BME integra los datos blandos construidos con datos geoquímicos para obtener el porcentaje de los minerales. Y la integración del modelo BME-GWR representa una herramienta poderosa para la identificación de anomalías geoquímicas bajo consideración de restricciones geológicas.

Asimismo, J. Wang y Zuo (2022), (DO2), indagaron sobre la promediación de los modelos: LSA (análisis de singularidad local), AE (autocodificador) y OCSVM (máquinas de vectores de soporte de una clase), y se emplearon cuatro elementos geoquímicos: Au, Sb, As y Cu, todo ello en la provincia de Sichuan (China). Se encontró que la combinación de anomalías geoquímicas individuales puede optimizar el rendimiento predictivo y la robustez de los modelos, pues no existe un único modelo para determinarlas. En ese mismo sentido, Wu et al. (2022), (DO7), realizaron una pesquisa en el norte de la provincia de Xinjiang permitiendo conocer que las anomalías geoquímicas pueden identificarse eficazmente sobre la base de las características espaciales y las relaciones internas de los datos geoquímicos. Estableciéndose un modelo integral consistente en aprendizaje por transferencia y red neuronal siamesa.

En ese mismo sentido, *existen investigaciones para vectorizar hacia sitios de depósitos minerales que no han sido descubiertos*, Ghasemzadeh et al. (2022), (DO6), encontraron que el modelo geoquímico basado en el valor de la información es una firma de elementos múltiples que puede utilizarse como una capa de evidencia geoquímica mejorada para la exploración de minerales mediante técnicas de análisis de

prospectividad. En lo que respecta a *estudios de mineralización multimetal Sn-W*, Hung (2022), (DO5), halló que los análisis de frecuencia demostraron que el Pb, As, Bi, Li, Sn, W, Ta, Ce, Ag, Sb y Be poseen estrechos vínculos con los minerales multimetales, lo que implica que estos elementos pueden utilizarse como indicadores de prospección en dicha región. Por lo tanto, tales anomalías pueden ser una herramienta prometedora para la prospección y exploración de mineralización multimetal.

En lo que respecta a conocer la *influencia de la geología y la evaluación de la presencia de anomalías naturales y/o antropogénicas en la cuencas hidrográficas a diferentes escalas*, Dominech et al. (2022), (DO8), realizaron una investigación en la cuenca del río Mingardo (Italia). Se obtuvo que de las actividades de prospección geológica a gran escala se utilizaron datos geolitológicos de reconocimiento (a pequeña escala) y datos geoquímicos de los sedimentos de las corrientes. Asimismo, Sechman et al. (2018), (DO11), realizaron una investigación que tuvo como propósito interpretar las regularidades en la distribución de las anomalías geoquímicas superficiales observadas en un fragmento de la zona de contacto entre el Cinturón de Plegado y Empuje de los Cárpatos y el Foredeep de los Cárpatos (Polonia). Encontraron una correlación positiva relativamente alta entre la distribución de las anomalías geoquímicas superficiales y la intensidad relativa de las muestras de hidrocarburos registradas en los pozos, mencionando que las anomalías alcanas se originaron a partir de la migración de hidrocarburos desde fuentes del subsuelo.

Y finalmente, Racki et al. (2018), (DO10), realizaron una investigación, en el sur de Italia, que tuvo como propósito analizar los sistemas geoquímicos, y la aplicación de Plasma Acoplado Inductivo-Espectrometría de masas (ICP-MS), como estándar analítico para trazas, incluyendo al mercurio. Se realizó el análisis comparativo de Hg de localidades de Marruecos, Alemania y Uzbekistán, develando una estrecha semejanza entre las terminaciones del ICP-MS y del AAS (espectrometría de absorción atómica), y observándose valores de Hg aumentados se sitúan en el campo de error de las AAS para el caso de las muestras enriquecidas >70%.

DISCUSIÓN

Para que se puedan distinguir los resultados de la presente pesquisa con lo referido por otros autores, se mencionan los autores de la revisión acompañados de su codificación. Existe un interés por parte de la comunidad científica por conocer si los modelos

individuales o la combinación de estos, favorecen la detección de anomalías geoquímicas. Con relación a la presente investigación, H. Wang et al. (2022), (DO3), llegan a integrar los modelos BME y GWR para la detección de anomalías químicas de sedimentos. De igual manera, H. Wang, Yuan, Cheng, y Zhang (2022), (DO4), generaron mapas de anomalías geoquímicas (ambas investigaciones en China), empleando un modelo integrado para ubicar muestras dispersas y depósitos con diferentes entornos geológicos. Esto coincide con lo mencionado por He y Kolovos (2018) cuando refieren que el BME es empleado con éxito para introducir un modelo mejorado de conocimiento sobre la información espacial y espacio-temporal, incluyéndose la atmósfera, la litósfera y la ecósfera.

El BME es empleado también para la respiración del suelo, Hu et al. (2016), emplearon dicho algoritmo, utilizando la temperatura del suelo, como información auxiliar, para estudiar la distribución espacial de la respiración del suelo. Basado en la relación funcional entre la temperatura del suelo y la respiración del suelo, se integró satisfactoriamente los datos de temperatura del suelo en dicha distribución espacial. De la misma manera, Fei et al. (2019) refieren que la distribución espacial de las concentraciones de contaminantes de metales pesados permiten la detección de alta contaminación y facilita la distribución y control de las fuentes de contaminación.

Por otro lado, existen herramientas como la de Kriging para la detección de anomalías geoquímica en el oro, como “estimador insesgado y hace las predicciones soportándose en los variogramas experimentales para una variable y variogramas cruzados para la correlación de 2 variables” (Chuquiruna y Chira, 2018, p. 97). Estos aspectos como los mencionados anteriormente, van por el hecho de conocer las “dimensiones, formas y composición de estas anomalías geoquímicas son parámetros muy importantes durante la exploración de depósitos minerales” (Lastra-Rivero y Garcia-Crespo, 2022, p. 146). De igual manera, Bazán (2021) refiere la existencia de técnicas modernas como Fuzzy y SOM (mapa autoorganizado) para la prospección geoquímica.

Asimismo, respecto a la promediación de modelos realizada por J. Wang y Zuo (2022), (DO2), estos tuvieron como objetivo, conocer los modelos: LSA (análisis de singularidad local), AE (autocodificador) y OCSVM (máquinas de vectores de soporte de una clase), empleando cuatro elementos geoquímicos: Au, Sb, As y Cu. Este interés de la determinación de “patrones de anomalías positivas y negativas puede producir mayor

información y precisión en la interpretación de los procesos mineralizantes polimetálicos y su prospección” (Vásquez et al., 2010, p. 903). Finalmente, la existencia de los metales pesados se encuentra muchas veces como contaminantes de las aguas, como mencionan Fajardo et al. (2017) en “la determinación de metales pesados (Hg, Cd, Pb, As), en los cuerpos de agua del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante el método de Inducción de Plasma Acoplada (ICP) (p. 149).

CONCLUSIONES

Se encontró que la comunidad científica investiga sobre los modelos para la detección de anomalías geoquímicas, siendo que la combinación de los modelos BME y GWR, los que permiten determinar con más exactitud, los metales pesados e información auxiliar, como por ejemplo, en la detección de anomalías de As, Cr y Pb, en Changai. El modelo BME integra los datos blandos construidos con datos geoquímicos para obtener el porcentaje de los minerales y el modelo GWR que produce la media y la varianza de los datos blandos de probabilidad basados en restricciones geológicas. Además, se consideraron aspectos relacionados a que las anomalías geoquímicas pueden identificarse de manera óptima a través de un modelo integral de transferencia y red neuronal siamesa mejorando de esta manera, el modelo con información geoquímica multiescala.

De la misma manera, existen investigaciones para vectorizar los sitios de depósitos minerales para hallar evidencia geoquímica a través de la prospectividad de los datos geoquímicos. Además, se registran investigaciones que poseen como finalidad interpretar las regularidades en la distribución de las anomalías geoquímicas superficiales, en la zona de contacto, entre el Cinturón de Plegado y Empuje de los Cárpatos y el Foredeep de los Cárpatos, en Polonia.

LISTA DE REFERENCIAS

- Bazán, O. (2021). Innovaciones estadísticas y redes neuronales artificiales aplicadas a la prospección geoquímica en los cuadrángulos de Chaparra y Atico, Caravelí – Arequipa. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 35–44. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19212>
- Blanco, D., Rubio, E., Marín, M., y de Agustina, B. (2020). Propuesta metodológica para revisión sistemática en el ámbito de la ingeniería basada en PRISMA. *Congreso*

- Nacional de Ingeniería Mecánica*, 1(June), 1–12.
https://www.researchgate.net/profile/David_Blanco_Gomez/publication/348705198_Propuesta_metodologica_para_revision_sistemica_en_el_ambito_de_la_ingenieria_basada_en_PRISMA/links/600bf215a6fdccdc8736b1e/Propuesta-metodologica-para-revision-sistemica-e
- Chuquiruna, W., y Chira, J. E. (2018). Análisis Geoestadístico Multivariable para identificación de anomalía del oro, Ayahuanca-Puno. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, 21(41), 91–98.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v21i41.14997>
- Clarke, J. (2011). What is a systematic review [Qué es una revisión sistemática]. In *Evidence-Based Nursing* (Vol. 14, Issue 3, p. 64).
<https://doi.org/10.1136/ebn.2011.0049>
- Dominech, S., Yang, S., Aruta, A., Gramazio, A., & Albanese, S. (2022). Multivariate analysis of dilution-corrected residuals to improve the interpretation of geochemical anomalies and determine their potential sources: The Mingardo River case study (Southern Italy) [Análisis multivariante de residuales corregidos por dilución para mejorar la interpretación de anomalías geoquímicas y determinar sus fuentes potenciales: el estudio de caso del río Mingardo (sur de Italia)]. *Journal of Geochemical Exploration*, 232, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106890>
- Dusengemungu, L., Mubemba, B., & Gwanama, C. (2022). Evaluation of heavy metal contamination in copper mine tailing soils of Kitwe and Mufulira, Zambia, for reclamation prospects [Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de relaves de minas de cobre de Kitwe y Mufulira, Zambia, para perspectivas de recuperación]. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–16.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-15458-2>
- Escudero, C. L., y Cortez, L. A. (2018). *Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica*. Ediciones UTMACH.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodoscualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>
- Fajardo, N., Solís, H., y Gil, F. (2017). Determinación de metales pesados en los cuerpos de agua del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Región

- Callao, Perú. *Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM*, 20(39), 149–158. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v20i39.14177>
- Fei, X., Christakos, G., Xiao, R., Ren, Z., Liu, Y., & Lv, X. (2019). Improved heavy metal mapping and pollution source apportionment in Shanghai City soils using auxiliary information [Mapeo mejorado de metales pesados y asignación de fuentes de contaminación en los suelos de la ciudad de Shanghai usando información auxiliar] *Science of The Total Environment*, 661, 168–177. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.01.149>
- Ghasemzadeh, S., Maghsoudi, A., Yousefi, M., & Mihalasky, M. J. (2022). Information value-based geochemical anomaly modeling: A statistical index to generate enhanced geochemical signatures for mineral exploration targeting [Modelado de anomalías geoquímicas basado en valores de información: un índice estadístico para generar firmas geoquímicas mejoradas para la exploración de minerales]. *Applied Geochemistry*, 136, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105177>
- Guo, J., Fan, H., Wang, X., Zhang, L., Ren, L., He, Y., Ma, F., Meng, W., Bai, X., & Yin, J. (2019). Integrating Geochemical Anomaly and Remote Sensing Methods to Predict Oil- and Gas-Bearing Areas in the Yanchang Oil Field, Ordos Basin, China [Integración de anomalías geoquímicas y métodos de detección remota para predecir áreas con presencia de petróleo y gas en el campo petrolífero de Yanchang, cuenca de Ordos, China]. *Earth Sciences Research Journal*, 23(1), 79–86. <https://doi.org/10.15446/esrj.v23n1.57544>
- He, J., & Kolovos, A. (2018). Bayesian maximum entropy approach and its applications: a review [El enfoque bayesiano de máxima entropía y sus aplicaciones: una revisión]. *Stoch. Env. Res. Risk A*, 32, 859–877. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-017-1419-7>
- Herrera, P., y Millones, O. (2011). ¿Cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú? In *Informe Final* (Vol. 35, Issue 70). [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/FF88A00731054C670525797A006117B0/\\$FILE/Informe_Final_Costo_Economico_de_la_contaminacion_en_los_recursos_Hidrico.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/FF88A00731054C670525797A006117B0/$FILE/Informe_Final_Costo_Economico_de_la_contaminacion_en_los_recursos_Hidrico.pdf)
- Hu, J., Zhou, J., Zhou, G., Luo, Y., Xu, X., Li, P., & Liang, J. (2016). Improving estimations of

- spatial distribution of soil respiration using the Bayesian maximum entropy algorithm and soil temperature as auxiliary data [Mejora de las estimaciones de la distribución espacial de la respiración del suelo utilizando el algoritmo bayesiano de máxima entropía y la temperatura del suelo como datos auxiliares]. *PLoS ONE*, *11*(1), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146589>
- Hung, K. T. (2022). Identification of geochemical anomalies associated with Sn-W mineralization in the Dong Van region, North-Eastern Vietnam, using statistical methods [Identificación de anomalías geoquímicas asociadas con la mineralización Sn-W en la región de Dong Van, Noreste de Vietnam, usando métodos estadísticos]. *Mining Science and Technology (Russian Federation)*, *7*(2), 100–110. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-100-110>
- Lastra-Rivero, J. F., y Garcia-Crespo, M. E. (2022). Análisis de factores y modelación multifractal concentración-área para la delimitación de anomalías pedogeoquímicas complejas en el sector Loma Roja-Loma Hierro, Cuba occidental. *Boletín de Geología*, *44*(2), 145–160. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022007>
- Li, B., Zhang, F., Liao, J., Zhuang, X., Querol, X., Moreno, N., & Sangguan, Y. (2022). Geological Controls on Geochemical Anomaly of the Carbonaceous Mudstones in Xian'an Coalfield, Guangxi Province, China [Controles geológicos sobre la anomalía geoquímica de las lutitas carbonáceas en la cuenca carbonífera de Xian'an, provincia de Guangxi, China]. *Energies*, *15*, 1–22. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85123591679&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=55299e6f68b4947bf99ee60ce4c32c27&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Geochemical+anomaly+definition+using+stream+sediments+landscape+modeling%29&sl=87&sessi>
- Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Systematic Reviews of the Literature: What Should be Known About Them [Revisiones sistemáticas de la literatura: lo que se debe saber sobre ellas]. *Cirugía Española (English Edition)*, *91*(3), 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.cireng.2013.07.003>
- Peña, S., y Araya, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente.

- Revista de la Facultad de Derecho*, 50, 0–2.
<https://doi.org/10.22187/rfd2021n50a6>
- Quispe, J. (2021). *Método geoquímico de exploración con anomalías de AS, Pb, Zn, Cu y Fe, Proyecto Virgen de las Nieves, Raura* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2488>
- Racki, G., Marynowski, L., & Rakociński, M. (2018). Anomalous upper devonian mercury enrichments: Comparison of inductively coupled plasma-Mass spectrometry (ICP-MS) and atomic absorption spectrometry (AAS) analytical data [Enriquecimientos anómalos de mercurio en el devónico superior: comparación de datos analíticos de espectrometría de masas (ICP-MS) y espectrometría de absorción atómica (AAS) de plasma acoplado inductivamente]. *Geological Quarterly*, 62(3), 487–495.
<https://doi.org/10.7306/gq.1419>
- Román-Ochoa, Y., Choque, G. T., Tejada, T. R., Yucra, H., Durand, A. E., & Hamaker, B. R. (2021). Heavy metal contamination and health risk assessment in grains and grain-based processed food in Arequipa region of Peru [Contaminación por metales pesados y evaluación de riesgos para la salud en granos y alimentos procesados a base de granos en la región de Arequipa en Perú]. *Chemosphere*, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129792>
- Sechman, H., Góra, A., Twaróg, A., Guzy, P., Górska-Mruk, E., Górecki, W. (2018). Near-surface geochemical anomalies integrated with seismic and well data over the contact of the outer carpathians and the carpathian foredeep (SE Poland) [Anomalías geoquímicas cercanas a la superficie integradas con datos sísmicos y de pozos sobre el contacto de los Cárpatos exteriores y la profundidad de los Cárpatos (SE de Polonia)]. *Geofluids*, 2018, 1-21.
<https://doi.org/10.1155/2018/7014324>
- Urrútia, G., y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511.
http://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/public/uploads/PRISMA_Spanish.pdf
- Vásquez, R., Palomino, C., Chira, J., y Guillén, M. (2010). Anomalías Geoquímicas secundarias negativas y positivas de rocas sedimentarias silicoclásticas cretáceas

en el Perú central. *XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos*, 9, 900–903.

https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/428/2/Anomalias_secundarias_positivas_y_negativas.pdf

Vilela-Pincay, W., Marbelle, E.-E., y Bravo-González, A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de La Gestión. Revista Internacional de Administración*, 8(8), 215–233. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>

Wang, H., Yuan, Z., Cheng, Q., & Zhang, S. (2022). Incorporation of geological constraints into geochemical anomaly identification using BME-GWR: A case study from Inner Mongolia of China [Incorporación de restricciones geológicas en la identificación de anomalías geoquímicas utilizando BME-GWR: un estudio de Mongolia interior de China. *Ore Geology Reviews*, 141, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104658>

Wang, H., Yuan, Z., Cheng, Q., Zhang, S., & Sadeghi, B. (2022). Geochemical anomaly definition using stream sediments landscape modeling [Definición de anomalías geoquímicas utilizando modelos de paisajes de sedimentos de corrientes]. *Ore Geology Reviews*, 142, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104715>

Wang, J., & Zuo, R. (2022). Model averaging for identification of geochemical anomalies linked to mineralization [Promedio de modelos para la identificación de anomalías geoquímicas vinculadas a la mineralización]. *Ore Geology Reviews*, 146, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104955>

Wang, X., Cawood, P. A., Zhao, H., Zhao, L., Grasby, S. E., Chen, Z. Q., Wignall, P. B., Lv, Z., & Han, C. (2018). Mercury anomalies across the end Permian mass extinction in South China from shallow and deep water depositional environments [Anomalías de mercurio a lo largo de la extinción masiva del Pérmico final en el sur de China en entornos de depósito de aguas poco profundas]. *Earth and Planetary Science Letters*, 496, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.05.044>

Wu, B., Li, X., Yuan, F., Li, H., & Zhang, M. (2022). Transfer learning and siamese neural network based identification of geochemical anomalies for mineral exploration: A case study from the Cu-Au deposit in the NW Junggar area of northern Xinjiang Province, China [Transferencia de aprendizaje e identificación basada en redes

neuronales siamesas de anomalías geoquímicas para la exploración de minerales: un estudio de caso del depósito Cu-Au en el área NW Junggar de la provincia norteña de Xinjiang, China]. *Journal of Geochemical Exploration*, 232, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106904>