



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“Prospección geoquímica y la identificación de blancos exploratorios en el periodo del 2010-2020”:
una revisión sistemática de la literatura científica

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Geológica

Autores:

Luis Daniel Macedo Rojas
Yampier Enrique Huaylla Valqui

Asesor:

Mg. Karin Dávalos Flores

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

A Dios, y a mis padres por brindarme la fortaleza, perseverancia, dedicación y por los valores inculcados en mi vida durante mi formación profesional, ya que permitió desarrollarme en lo personal y académico para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos principalmente a Dios por encaminarnos por el camino correcto, a nuestras familias quienes nos enseñaron los valores de la vida y a nuestro asesor por brindarnos sus consejos en base a su experiencia, sin ellos este presente trabajo no hubiese sido posible.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	13
CAPITULO III. RESULTADOS	24
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	33
REFERENCIAS	35
ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Artículos encontrados en diferentes bibliotecas virtuales	16
Tabla 2. Base de datos de los estudios encontrados en diversas plataformas.	18
Tabla 3. Total de estudios seleccionados y excluidos de acuerdo a la revista	25
Tabla 4 .Porcentaje de artículos seleccionados de acuerdo con la temática investigada ...	27
Tabla 5. Cantidad de artículos de acuerdo con el tipo de muestreo empleado.....	28
Tabla 6. Cantidad de artículos de acuerdo con el análisis geoquímico empleado.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de artículos de estudio.	24
Figura 2. Porcentaje de artículos en base a la revista científica.	26
Figura 3. Cantidad de artículos con respecto al año de publicación.....	26
Figura 4. Cantidad de estudios en relación con el tipo de elemento estudiado.	30
Figura 5. Cantidad de artículos en relación con el tipo de depósito de mineral asociado. ...	31
Figura 6. Búsqueda de base de datos en Springer Link.	37
Figura 7. Búsqueda de base de datos en ScienceDirect.	37

RESUMEN

Los estudios realizados durante los últimos años indica que la geoquímica en la exploración es muy importante en el enriquecimiento o agotamiento de ciertos elementos químicos en los depósitos minerales, es por ello, que uno de los métodos que se realiza es la prospección geoquímica que consiste en tomar mediciones sistemáticas de uno o más parámetros químicos, generalmente en trazas, de material natural en la corteza terrestre, por la cual, se recogen muestras de rocas, escombros, suelos, perfil de meteorización, incluyendo gossan, arroyo o sedimentos de drenaje, aguas subterráneas, vapor y vegetación para analizarlas en el laboratorio. los análisis del muestreo pueden mostrar resultados anormales que se define como una anomalía geoquímica, que puede revelar minerales ocultos cerca de la superficie o profundamente en depósitos con propiedades económicamente viables. El objetivo de la investigación es determinar la relación entre la Prospección Geoquímica y la Identificación de Blancos Exploratorios. Las fuentes de información utilizadas fueron Scielo, Redalyc, Sciencedirect, Mineralium Deposita, Concytec y repositorios institucionales que consiste en libros y papers. Los resultados presentan información específica y relevante respecto a el estudio de la prospección geoquímica en depósitos minerales y las anomalías posibles de un yacimiento mineral. Finalmente se analiza los aspectos más importantes en la prospección geoquímica de depósitos minerales, además, es muy importante tener un correcto muestreo para obtener datos precisos en el laboratorio y obtener una eficiente correlación.

PALABRAS CLAVES: Prospección, geoquímica y blancos exploratorios

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La revisión sistemática para el presente estudio consiste en identificar, evaluar, seleccionar, y sintetizar evidencia informativa encontrados en numerosas fuentes de información, para conocer la actualidad del tema de investigación y poder identificar nuevos temas vacíos relacionados al tema investigativo y que sean abarcados; así como la utilidad de la revisión sistemática como un paso inicial antes de desarrollar la prospección geoquímica para la identificación de blancos exploratorios.

De acuerdo con Mestas (2019), en diferentes regiones a nivel nacional se cuenta con poca información geológica, sin alguna metodología adecuada para poder empezar algún proyecto nuevo, y esto en muchas ocasiones es un factor determinante para empresas pequeñas o juniors. A la vez, los escasos estudios relacionados a la geoquímica no permiten conocer las distribuciones espaciales y anomalías de diferentes elementos químicos mayores, menores, y en trazas en zonas de estudios, lo cual es importante realizarlas para definir mejor los conceptos mineralógicos, alteraciones, y anomalías favorables, solo el INGEMMET realizó análisis geoquímico de stream sediment, que si bien es cierto es de mucha ayuda, los resultados no permiten delimitar bien una zona porque son estudios a escalas grandes. Por estos motivos, es importante aportar estudios de Prospección Geoquímica para la identificación de blancos de exploración, y se realicen en zonas donde carecen de este tipo de estudios y tengan potencial de albergar buena mineralización, con el fin de tener delimitado la zona de interés y proceder con la etapa de perforación sin generar pérdidas económicas en vano.

Asimismo, para conocer la magnitud de la importancia de la Prospección Geoquímica en la identificación de blancos de exploración y la delimitación de zonas de interés, se presentan estudios de Fletcher (1981) y Howarth (1983) a continuación.

Según Fletcher (1981), menciona que el uso de la geoquímica de exploración en la búsqueda de depósitos minerales es la manera eficaz para iniciar trabajos exploratorios porque se basan en la premisa fundamental de realizar un muestreo propicio y análisis geoquímico idóneo (respaldada por una gran cantidad de datos empíricos), estas dos combinaciones empleadas te dan a conocer la distribución de elementos en la zona de interés o el proyecto de estudio, y si se relacionan con información de mapas estructurales y geológicas, se puede conocer la fuente de las anomalías fuertes y delimitar la zona de estudio. Además, Howarth (1983), hace énfasis en la utilidad de un análisis y tratamiento estadístico de datos en la Prospección Geoquímica ya que estos te permiten interpretar mejor los resultados obtenidos de tu muestreo, correlacionando elementos para así detectar que la anomalía no sea parte de una contaminación, sino que proviene de un cuerpo mineralizado, y posterior a ello delimitar blancos (targets) para trabajos sucesivos.

Para corroborar lo mencionado por estos dos últimos autores, se profundizará en estudios relacionados en la Prospección Geoquímica para la identificación de blancos exploratorios, realizados por Fan et al. (2017), Almasi et al. (2017), Zhang et al. (2013), de Caritat (2018), Thanh Tien & Tuyen Danh (2019), y Cueva (2017).

Según Fan et al. (2017) en Mongolia Interior-China, cuyo lugar no tenía antecedentes de minería de Pb-Zn ni registro de mineralización de estos elementos, se realizó Prospección Geoquímica mediante dos etapas, la primera consistió de un estudio regional por el método de stream sediment en un terreno de 30 km², se tomaron entre 4-8 muestras por km², donde

se obtuvieron anomalías concentradas de Pb-Zn-Cu-Ag, es por ello que se procedió a realizar una segunda etapa de muestreo de residuos residuales debajo de la cubierta de loess en un área de 6 km², las muestras fueron recolectadas a una densidad de una muestra por 100x50 m de grilla, con esa delimitación de muestreo se obtuvieron fuertes anomalías de Pb-Zn debajo de la cubierta de loess, identificándolo como un blanco exploratorio; por ello, se procedió a realizar perforaciones ubicando cuerpos de mineral con una buena ley de Pb-Zn con 1.27% y 1.9%, respectivamente con 540.000 tn de reservas.

Otro estudio realizado por Almasi et al. (2017), tuvo como fin identificar áreas de prospección de oro basadas en datos geológicos, geoquímicos, al NO de Irán. Para lograr los datos de este trabajo, se analizó 448 muestras de sedimentos de corriente mediante el análisis geoquímica ICP-AES, y analizando la data obtenida por métodos de correlación bivariados y multivariados como Spearman y análisis de componentes principales (PCA). Con lo realizado anteriormente, se identificó anomalías de Au, As, Bi, Hg, que se relacionaron con lineamientos NE-SW, obteniendo diferentes blancos de interés.

También, un estudio realizado por Zhang et. al (2013), en Guangdong-China, se obtuvieron un conjunto de datos geoquímicos de stream sediment para 1880 km², donde se recolectó alrededor de 7236 muestras y se midieron las concentraciones de Ag,Cu,As,Pb y Zn para cada muestra, posterior a ello, se utilizó la Ley de distribución de combinación espacial y análisis de componentes principales(PCA) para construir modelos de combinación e identificar anomalías geoquímicas, y con el fin de fortalecer las anomalías débiles y separarlas del background, se empleó el modelamiento fractal Spectrum-Area(S-A).Los resultados mostraron que las anomalías de una combinación de variables coincidieron con la mineralización de un área ya conocida, pero las anomalías altas indican nuevos blancos

de exploración para depósitos aún por conocer permitiendo que a futuro se sigan realizando trabajos exploratorios más detallados.

Otra investigación realizada por de Caritat (2018) tuvo como propósito identificar regiones que podrían priorizarse para futuras investigaciones e inversiones estratégicas, por la cual utilizó datos geoquímicos de baja densidad para investigar si la dotación de minerales de metales básicos se puede reconocer a escala continental. Se tomaron 1186 muestras de sedimentos de la salida de captación, que en conjunto cubren más de 6.174 millones de km^2 o $\sim 81\%$ de Australia con una densidad promedio de 1 sitio / 5200 km^2 , lo cual se determinó por el ICP-MS después de la digestión de Aqua Regia (AR; 3: 1 HCl: HNO_3). También, se logró obtener resultados en concentraciones de plata (Ag), plomo (Pb) y zinc (Zn). Finalmente, los datos de prospección geoquímica de densidad baja se pueden usar para identificar regiones amplias con áreas de mineralización conocida. Los resultados mostraron de que estas regiones se relacionan con áreas de mineralización conocida.

La investigación realizada por Thanh Tien & Tuyen Danh (2019), en el distrito minero de Jiurui-China, se enfocó principalmente en la prospección geoquímica mediante el muestreo de stream sediment, obteniéndose un total de 1842 muestras haciendo el uso del análisis geoquímico ICP-MS, por lo cual, se obtuvo una data y se redujo la dimensión de esta mediante el uso del Robust Mahalanobis Distance (RMD), y para determinar la variabilidad espacial y medir el grado de autocorrelación espacial en escalas globales y locales se empleó el correlograma espacial y las estadísticas de Moran I, respectivamente. Los resultados mostraron una fuerte correlación positiva en los primeros 6 km, las anomalías positivas y negativas se correlacionaron con 13 depósitos conocidos de Cu-Au-Mo y Cu-Mo, y finalmente se detectaron anomalías moderadas de mineralización polimetálica en Zengjialon y Jianfengpo, identificando estos dos blancos exploratorios.

Igualmente, otro estudio realizado por Cueva (2017) en la ciudad de Huánuco, se centró en la geoquímica de las ocurrencias de sulfuros en las rocas metamórficas del complejo del Marañón. Para tal fin, se recolectó 140 muestras por el método de Rock Chips, y se aplicó el análisis por ICP-AES y AAS, donde el segundo análisis geoquímico se empleó principalmente en rocas que tenían trazas, diseminación o venilleo de sulfuros de mena; posterior a lo mencionado se realizó un tratamiento estadístico univariado y multivariado de los datos arrojados por las muestras, identificando tres blancos exploratorios con fuertes anomalías en Pb-Zn.

Los estudios realizados anteriormente nos permiten formular la siguiente pregunta; ¿Cuál es la relación entre la prospección geoquímica y la identificación de blancos exploratorios, en el periodo 2010-2020?

La presente investigación teórica tiene como objetivo principal determinar la relación entre la Prospección Geoquímica y la Identificación de Blancos Exploratorios en el periodo 2010-2020, es por ello, la importancia de identificar zonas de interés mediante la geoquímica para obtener posibles blancos exploratorios (targets) que a la larga podría llevarnos a encontrar yacimientos minerales económicamente rentables en zonas determinadas. También, se brindará información relevante que permitirá a estudiantes y profesionales dedicados a la exploración geológica a obtener información actualizada en el tema de la geoquímica.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

En la presente revisión sistemática de literatura científica, se analizaron y sintetizaron las evidencias encontradas en artículos de investigaciones respecto a la prospección geoquímica de depósitos minerales. Según Grant & Booth (2013), la revisión sistemática intenta reunir todo el conocimiento de un área específica, destacando lo que se conoce acerca de un tema concreto, a través de los resultados obtenidos en diferentes estudios y ofrecer así recomendaciones para la práctica e investigación futura.

La pregunta de investigación establecida para conducir al proceso metodológico fue la siguiente: ¿Cuál es la relación entre la prospección geoquímica y la identificación de blancos exploratorios?

Asimismo, se consideraron estudios que se relacionan directamente con la aplicación de la Prospección Geoquímica para la identificación de blancos exploratorios, considerando que estas se hayan realizado en los últimos diez años, para obtener la información más actualizada posible porque en la Prospección Geoquímica cada año se va mejorando los diferentes métodos que existen, también considerando que estén en los idiomas de español e inglés, para obtener una buena cantidad de estudios que nos permitan seleccionar los más idóneos. Otro punto importante, es que los estudios estén publicados en revistas o páginas científicas de prestigio como ScienceDirect, Mineralium Deposita (springlink), Redalyc, Scielo y Alicia (Concytec).

Para la búsqueda de los estudios relacionado a nuestro tema principal, se utilizaron las siguientes bibliotecas virtuales:

a) ScienceDirect

Science Direct es la plataforma digital y base de datos que permite consultar las publicaciones de la que probablemente sea la editorial científico-académica más importante del mundo, Elsevier. A diferencia de otros productos de la misma empresa (como Scopus), Science Direct no requiere suscripción previa para su utilización. (Codina Sanchez, 2018)

b) Scielo

SciELO (Scientific Electronic Library Online) es un modelo para la publicación de revistas científicas en Internet. Su objetivo principal es aumentar la difusión y visibilidad de la ciencia generada en Latinoamérica, el Caribe, España y Portugal. Es un modelo cooperativo descentralizado que agrupa colecciones nacionales y temáticas de revistas científicas. (Bojo Canales , Fraga Medellin , Hernandez Villegas, & Primo Peña , 2012)

c) Mineralium Deposita (Springlink)

Mineralium Deposita publica artículos sobre todos los aspectos de la geología de los depósitos minerales. Incluye nuevas observaciones sobre minerales metálicos y no metálicos y depósitos minerales, descripciones de depósitos minerales, geoquímica inorgánica, orgánica e isotópica experimental y aplicada, así como aspectos genéticos y ambientales de depósitos minerales. (Sociedad Geológica Aplicada a Depósitos Minerales, 2017)

d) Redalyc

Redalyc es un sistema de indización que integra a su índice las revistas de alta calidad científica y editorial de la región, después de 16 años de dar visibilidad y apoyar en la consolidación de las revistas, ahora integra de manera exclusiva a las que comparten el modelo de publicación sin fines de

lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica, de cualquier región. (REDALYC, 2018)

e) Concytec-Alicia

ALICIA contiene la mayor colección digital de producción científica y tecnológica de Perú, proveniente de entidades del sector público y privado en materia de ciencia, tecnología e innovación. Se trata de una herramienta esencial para que estudiantes, académicos, investigadores, empresarios y público en general. (Concytec, 2016)

Para realizar el proceso de búsqueda se definieron como descriptores los siguientes términos a partir de la pregunta de investigación: Prospección geoquímica, exploración geológica y geoquímica, e identificación de blancos exploratorios. Se escogieron estas palabras claves debido al amplio concepto, donde se dio preferencia a las tesis y artículos de investigación que sean del año 2010 para adelante, en los idiomas español e inglés, considerando que sean del tipo Descriptivo, Analítico y Exploratorio, y tomando en cuenta el resumen para saber si tiene relación con la pregunta de investigación.

A continuación, se mostrará el total de artículos encontrados en las bibliotecas virtuales, de acuerdo con la estrategia de búsqueda.

Tabla 1

Artículos encontrados en diferentes bibliotecas virtuales

BIBLIOTECA VIRTUAL	CANTIDAD DE ARTÍCULOS ENCONTRADOS
ScienceDirect	303
Mineralium deposita (Springerlink)	35
Scielo	25
Concytec	12
Redalyc	10

En las bibliotecas virtuales se encontraron alrededor de 334 artículos, de los cuales se descartaron alrededor de 310 de acuerdo con los criterios de inclusión, no respondían con la pregunta de investigación y porque no tenían relación directa con el tema principal debido a que no contenían información relevante como:

- No abarcaban el análisis geoquímico que es importante en la prospección
- No abarcaban el tipo de muestreo que se debería emplear para ejecutar el estudio.
- No contenían información sobre el tratamiento estadístico de datos.

A continuación, se detallará la selección de estudios para cada biblioteca virtual empleada:

En ScienceDirect se obtuvieron 303 artículos de investigación que pertenecen a los últimos diez años, donde finalmente se escogieron 15 porque mantienen una relación directa con el tema y se realizaron en los últimos diez años.

En Alicia (Concytec), se obtuvieron 12 resultados, mayormente de tesis de pregrado, es por ello que se tomó solo 1, ya que pertenecía al tema y se ajustaba con la pregunta de investigación.

En Mineralium deposita (Springerlink) se encontraron 25 con relación en los últimos diez años, las cuales se tomó 6 porque están enfocados en el tema principal y la pregunta de investigación.

En Scielo se obtuvieron 35 resultados de los cuales se tomaron 1, ya que los demás no pertenecían al tema correspondiente.

En Redalyc se obtuvieron 10 resultados de las cuales se tomaron 1, basándose en el tema principal.

Se elaboró una base de datos con los estudios encontrados en las diferentes bibliotecas virtuales con el fin de realizar los filtros y escoger lo estudios más importantes que aportarán a nuestro tema principal, donde se toma en consideración: la Palabra Clave, el Año de Publicación, el Título, Resumen, País, el citado en APA, el Tipo de Investigación, y el DOI del estudio. A continuación, se mostrará la base de datos:

Tabla 2

Base de datos de los estudios encontrados en diversas plataformas.

REVISTA	PALABRA CLAVE	AÑO	TÍTULO	PAÍS	CITA APA	TIPO DE INVESTIGACIÓN	DOI
Science Direct	Prospección Geoquímica	2014	Different spatial methods in regional geochemical mapping at high density sampling: An application on stream sediment of Romagna Apennines, Northern Italy	Italia	Lancianese, V., & Dinelli, E. (2015). Different spatial methods in regional geochemical mapping at high density sampling: An application on stream sediment of Romagna Apennines, Northern Italy. <i>Journal of Geochemical Exploration</i> , 154, 143-155.	Prospectivo	https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.014
Science Direct	Prospección Geoquímica	2015	Discovery of Au–Ag mineralization by stream sediment and soil geochemical exploration in metamorphic terrain in western Turkey	Turquía	Yilmaz, H., Sonmez, F. N., & Carranza, E. J. M. (2015). Discovery of Au–Ag mineralization by stream sediment and soil geochemical exploration in metamorphic terrain in western Turkey. <i>Journal of Geochemical Exploration</i> , 158, 55-73.	Descriptivo	https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.07.003
Science Direct	Exploracion Geoquimica	2016	Near-mine exploration via soil geochemistry multivariate analysis at the Almas gold province, Central Brazil: A study case	Brasil	Martins-Ferreira, M. A. C., Campos, J. E. G., & Pires, A. C. B. (2016). Near-mine exploration via soil geochemistry multivariate analysis at the Almas gold province, Central Brazil: A study case. <i>Journal of Geochemical Exploration</i> , 173, 52-63.	Descriptivo	https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.011

Prospección geoquímica y la identificación de blancos
exploratorios en el periodo del 2010-2020: una
revisión sistemática de la literatura científica

Science Direct	Prospección Geoquímica	2019	Mapping of single- and multi-element geochemical indicators based on catchment basin analysis: Application of fractal method and unsupervised clustering models	Irán	Ghezelbash, R., Maghsoudi, A., & Carranza, E. J. M. (2019). Mapping of single- and multi-element geochemical indicators based on catchment basin analysis: Application of fractal method and unsupervised clustering models. <i>Journal of Geochemical Exploration</i> , 199, 90-104.	prospectivo	https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.01.017
Science Direct	Prospección Geoquímica	2016	Multifractal interpolation and spectrum-area fractal modeling of stream sediment geochemical data: Implications for mapping exploration targets	Irán	Parsa, M., Maghsoudi, A., Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. (2017). Multifractal interpolation and spectrum-area fractal modeling of stream sediment geochemical data: Implications for mapping exploration targets. <i>Journal of African Earth Sciences</i> , 128, 5-15.	descriptivo	https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.11.021
Science Direct	Prospección Geoquímica	2019	Identification of geochemical anomaly and gold potential mapping in the Sonakhan Greenstone belt, Central India: An integrated concentration-area fractal and fuzzy AHP approach	Viet Nam	Behera, S., Panigrahi, M. K., & Pradhan, A. (2019). Identification of geochemical anomaly and gold potential mapping in the Sonakhan Greenstone belt, Central India: An integrated concentration-area fractal and fuzzy AHP approach. <i>Applied Geochemistry</i> , 107, 45-57.	Prospectivo	https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.05.015
Science Direct	Prospección Geoquímica	2018	Comparison of U-spatial statistics and C-A fractal models for delineating anomaly patterns of porphyry-type Cu geochemical signatures in the Varzaghan district, NW Iran	Irán	Ghezelbash, R., & Maghsoudi, A. (2018). Comparison of U-spatial statistics and C-A fractal models for delineating anomaly patterns of porphyry-type Cu geochemical signatures in the Varzaghan district, NW Iran. <i>Complex Rendus Geoscience</i> , 350 (4), 180-191.	Prospectivo	https://doi.org/10.1016/j.crs.2018.02.003

Prospección geoquímica y la identificación de blancos
exploratorios en el periodo del 2010-2020: una
revisión sistemática de la literatura científica

Science Direct	Prospección Geoquímica	2019	Identification of multivariate geochemical anomalies using spatial autocorrelation analysis and robust statistics	Irán	Nguyen, T. T., & Vu, T. D. (2019). Identification of multivariate geochemical anomalies using spatial autocorrelation analysis and robust statistics. <i>Ore Geology Reviews</i> , 111, 102985.	Analítico	https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.102985
ScienceDirect	Exploracion Geoquimica	2019	Singularity mapping of bulk leach extractable gold and -80# stream sediment geochemical data in recognition of gold and base metal mineralization footprints in Biga Peninsula South, Turkey	Turquía	Yilmaz, H., Yousefi, M., Parsa, M., Sonmez, F. N., & Maghsoodi, A. (2019). Singularity mapping of bulk leach extractable gold and -80# stream sediment geochemical data in recognition of gold and base metal mineralization footprints in Biga Peninsula South, Turkey. <i>Journal of African Earth Sciences</i> , 153, 156-172.	Prospectivo	https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.02.015
ScienceDirect	Exploracion Geoquimica	2020	Geochemical anomalies of critical elements (Be, Co, Hf, Sb, Sc, Ta, V, W, Y and REE) in soils of western Andalusia (Spain)	España	Fernández-Caliani, J. C., Romero-Baena, A., González, I., & Galán, E. (2020). Geochemical anomalies of critical elements (Be, Co, Hf, Sb, Sc, Ta, V, W, Y and REE) in soils of western Andalusia (Spain). <i>Applied Clay Science</i> , 191, 105610.	Prospectivo	https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105610
ScienceDirect	Exploracion Geoquimica	2017	Discovery of Wolitu Pb-Zn deposit through geochemical prospecting under loess cover in Inner Mongolia, China	China	Yang, F., Kong, M., Liu, H., Yu, J., Yang, S., Hao, Z., ... & Cen, K. (2017). Discovery of Wolitu Pb-Zn deposit through geochemical prospecting under loess cover in Inner Mongolia, China. <i>Geoscience Frontiers</i> , 8(5), 951-960.	Prospectivo	https://doi.org/10.1016/j.gsf.2016.08.007

Prospección geoquímica y la identificación de blancos
exploratorios en el periodo del 2010-2020: una
revisión sistemática de la literatura científica

ScienceDirect	Exploracion Geoquimica	2016	Geochemical prospecting of tin mineralization zone at Belukar	Malasia	Sapari, N. K., Zabidi, H., & Ariffin, K. S. (2016). Geochemical prospecting of tin mineralization zone at Belukar Semang prospect, Gerik, Perak. <i>Procedia Chemistry</i> , 19, 729-736.	Prospectivo	https://core.ac.uk/download/pdf/82103120.pdf
ScienceDirect	Prospección Geoquímica	2014	Geochemical prospecting for Cu mineralization in an arid terrain-central	Irán	Mokhtari, A. R., Rodsari, P. R., Fatehi, M., Shahrestani, S., & Pournik, P. (2014). Geochemical prospecting for Cu mineralization in an arid terrain-central Iran. <i>Journal of African Earth Sciences</i> , 100, 278-288.	Pospectivo	https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.07.004
ScienceDirect	Prospección Geoquímica	2019	Application of the multi-attribute anomaly model for prospecting potential at depth: A case study of the Haiyu Au deposit in the Jiaodong Gold Province, China	china	Jian, W., Lixin, Z., Shengming, M., Shixin, T., Liangliang, Z., & Weiwei, Z. (2019). Application of the multi-attribute anomaly model for prospecting potential at depth: A case study of the Haiyu Au deposit in the Jiaodong Gold Province, China. <i>Journal of Geochemical Exploration</i> , 207, 106359.	Descriptivo	https://doi.org/10.1016/j.jexplo.2019.106359
SpringerLink	Prospección Geoquímica	2013	Mineralization-related geochemical anomalies derived from stream sediment geochemical data using multifractal analysis in Pangxidong area of Qinzhou-Hangzhou tectonic joint belt, Guangdong Province, China	China	Zhang, Y., Zhou, Y. Z., Wang, L. F., Wang, Z. H., He, J. G., An, Y. F., ... & Gao, L. (2013). Mineralization-related geochemical anomalies derived from stream sediment geochemical data using multifractal analysis in Pangxidong area of Qinzhou-Hangzhou tectonic joint belt, Guangdong Province, China. <i>Journal of Central South University</i> , 20 (1), 184-192.	Descriptivo	https://doi.org/10.1007/s11771-013-1475-1

Prospección geoquímica y la identificación de blancos
exploratorios en el periodo del 2010-2020: una
revisión sistemática de la literatura científica

SpringerLink	Prospección Geoquímica	2013	Mineralization-related geochemical anomalies derived from stream sediment geochemical data using multifractal analysis in Pangxidong area of Qinzhou-Hangzhou tectonic joint belt, Guangdong Province, China	China	Zhang, Y., Zhou, Y. Z., Wang, L. F., Wang, Z. H., He, J. G., An, Y. F., ... & Gao, L. (2013). Mineralization-related geochemical anomalies derived from stream sediment geochemical data using multifractal analysis in Pangxidong area of Qinzhou-Hangzhou tectonic joint belt, Guangdong Province, China. <i>Journal of Central South University</i> , 20 (1), 184-192.	Descriptivo	https://doi.org/10.1007/s11771-013-1475-1
SpringerLink	Prospección Geoquímica	2020	Multi-parameter Analysis of Local Singularity Mapping and Its Application to Identify Geochemical Anomalies in the Xishan Gold Deposit, North China	China	Xu, S., Hu, X., Carranza, E. J. M., & Wang, G. (2020). Multi-parameter Analysis of Local Singularity Mapping and Its Application to Identify Geochemical Anomalies in the Xishan Gold Deposit, North China. <i>NATURAL RESOURCES RESEARCH</i> .	Prospectivo	https://doi.org/10.1007/s11053-020-09669-5
SpringerLink	Prospección Geoquímica	2014	Geochemical survey of rare earth elements (REEs) in the concealed ore body of Hongcheon, Korea	Korea	Ahn, J. S., Youm, S. J., Cho, Y. C., Shin, S. C., & Cho, W. H. (2014). Geochemical survey of rare earth elements (REEs) in the concealed ore body of Hongcheon, Korea. <i>Environmental earth sciences</i> , 72 (6), 2153-2161.	Prospectivo	https://doi.org/10.1007/s12665-014-3123-y
SpringerLink	Prospección Geoquímica	2020	The New Discovery of Ag-Pb-Zn Mineralization via Modern Portable Analytical Technology and Stream Sediment Data Processing Methods in Dajiacuo Area, Western Tibet (China)	China	Jiang, X., Chen, X., Gao, S. y col. El nuevo descubrimiento de la mineralización de Ag-Pb-Zn mediante la moderna tecnología analítica portátil y los métodos de procesamiento de datos de sedimentos en el área de Dajiacuo, Tíbet occidental (China). <i>J. Earth Sci.</i> (2020).	Prospectivo	https://doi.org/10.1007/s12583-020-1323-9

Prospección geoquímica y la identificación de blancos
exploratorios en el periodo del 2010-2020: una
revisión sistemática de la literatura científica

Springerlink	Prospección Geoquímica	2014	Prospecting of gold mineralization in Saqez area (NW Iran) using geochemical, geophysical and geological studies based on multifractal modelling and principal component analysis	Irán	Almasi, A., Jafarirad, A., Afzal, P., & Rahimi, M. (2014). Prospecting of gold mineralization in Saqez area (NW Iran) using geochemical, geophysical and geological studies based on multifractal modelling and principal component analysis. <i>Arabian Journal of Geosciences</i> , 8 (8), 5935-5947.	descriptivo	https://doi.org/10.1007/s12517-014-1625-2
Scielo	Prospección Geoquímica	2010	Geostatistical analysis of a geochemical dataset	España	Paz-Ferreiro, J., Vázquez, E. V., & Vieira, S. R. (2010). Geostatistical analysis of a geochemical dataset. <i>Bragantia</i> , 69, 121-129.	Analítico	https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000500013
Redalyc	prospeccion geoquimica	2018	Trace-metal content of the Cerro Quema Au-Cu deposit (Azüero Peninsula, Panama): Implications for exploration	Mexico	Corral, Isaac, & Corbella, Mercè, & Gómez-Gras, David, & Griera, Albert (2018). Trace-metal content of the Cerro Quema Au-Cu deposit (Azüero Peninsula, Panama): Implications for exploration. <i>Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana</i> , 70 (2),549-565.	Prospectivo	https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94362562015
Alicia.Concytec	Prospección Geoquímica	2017	Prospección geoquímica del prospecto Isabel distrito de Jircán - Huánuco	Peru	Cueva Salazar, P. G. (2017). <i>Prospección Geoquímica del Prospecto Isabel Distrito Jircán-Huanuco. (tesis de pregrado)</i> . Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú.	decriptivo	http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UJC/1418

Fuente: Propia

CAPITULO III. RESULTADOS

Para la selección de estudios, se tomó en cuenta la fecha de publicación a partir del año 2010, que estén en los idiomas de español e inglés, que tengan relación con el tema propuesto, que sean accesibles, dando preferencia a artículos de investigación y tesis, entre otros. Para entender el proceso de selección se detallará mediante un diagrama de flujo a continuación:

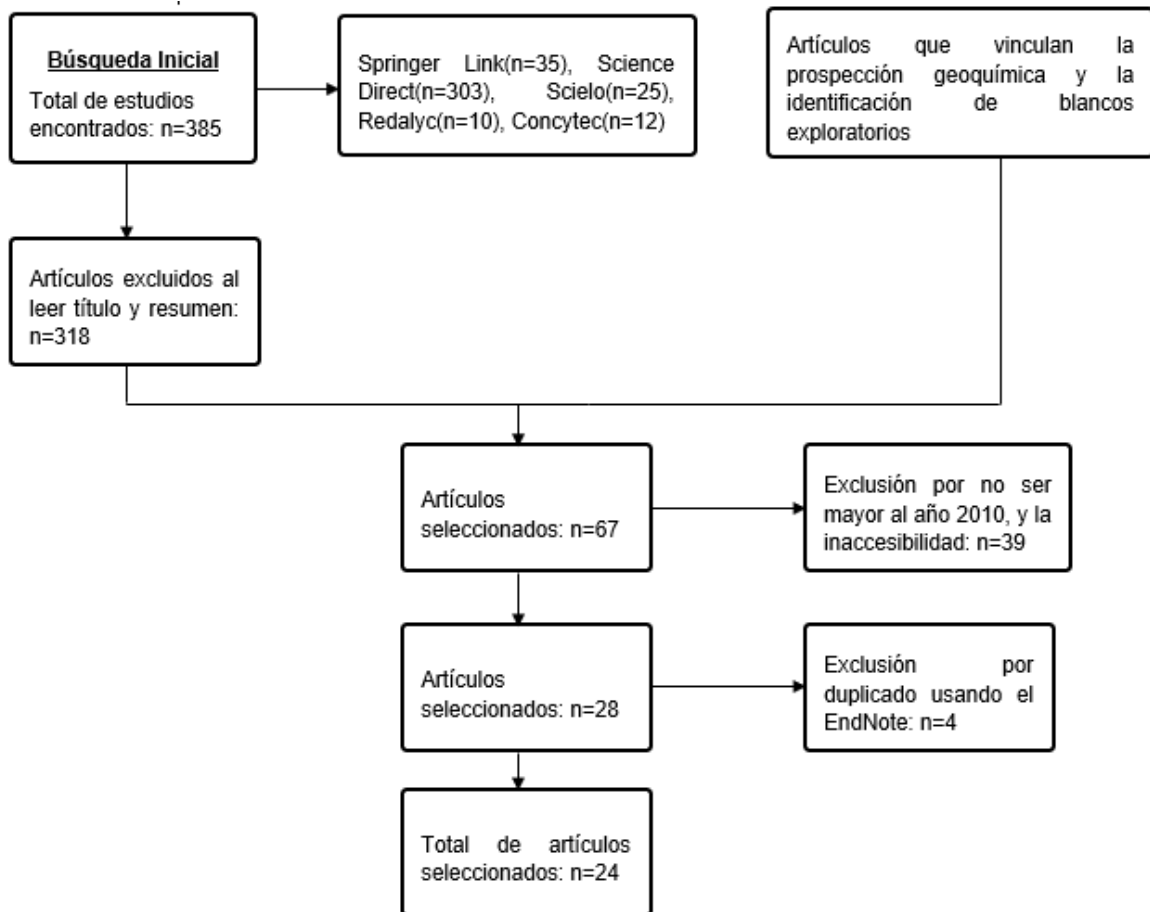


Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de artículos de estudio.

En cuanto a las características de estudios, se realizará en base a los estudios incluidos y excluidos por cada revista científica, el porcentaje de estudios por año, por tipos de investigación, y por temas abordados. Se detallará a continuación:

Tabla 3

Total de estudios seleccionados y excluidos de acuerdo a la revista

Base de Datos	Estudios Excluidos	Estudios seleccionados	Total
Science Direct	288	15	303
Springer Link	19	6	25
Scielo	34	1	35
Concytec	11	1	12
Redalyc	9	1	10
Total	361	24	385

Fuente: Propia

En la base de datos ScieDirect se encontraron 303 estudios ya sean tesis y artículos científicos, por la cual se determinó elegir 15 artículos relacionados con el tema principal, igualmente en Springerlink se identificaron 25, pero se seleccionaron 6; de la misma manera en Scielo se encontraron 35, de los cuales se escogió 1 enfocado en la idea principal; en Concytec se encontraron 11, eligiendo 1 y en Redalyc se identificó 10 artículos, eligiendo 1.

Finalmente, se seleccionaron 24 artículos científicos, excluyendo 361, debido a que no correspondía con el tema, y no se enfocaba con el objetivo principal.

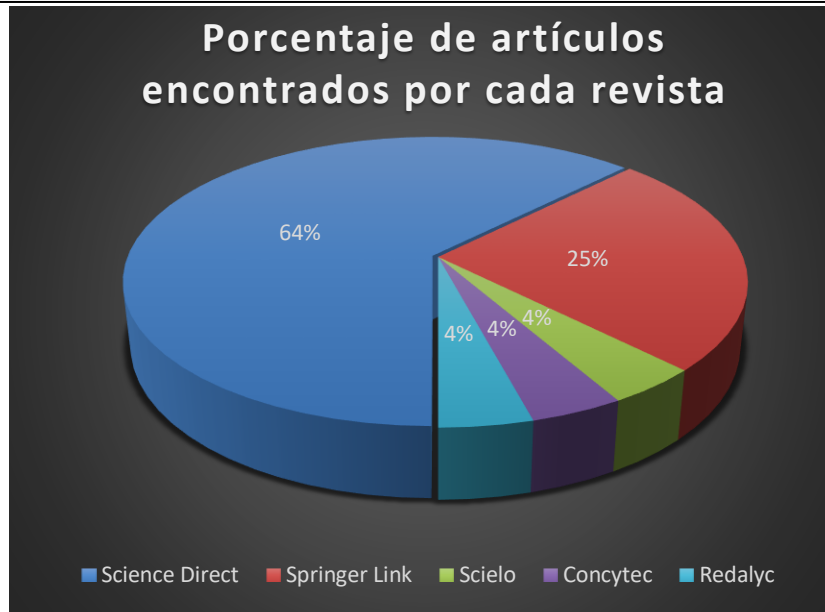


Figura 2. Porcentaje de artículos en base a la revista científica.

La mayoría de las investigaciones seleccionados se adquirieron de la revista de artículos científicos ScieDirect con 64% del total, de la misma manera para Springer Link con un 25%; por otro lado, Scielo, Concytec y Redalyc con un 4%.

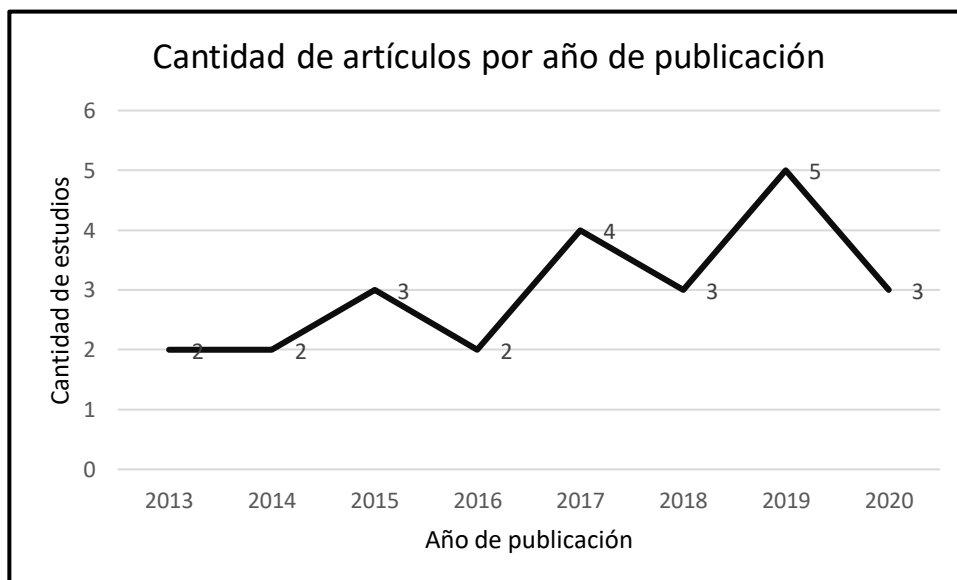


Figura 3. Cantidad de artículos con respecto al año de publicación

De la figura 3, se muestra la cantidad de investigaciones con respecto a los años 2013 a 2020, debido a que en los años entre 2010 y 2012 no se seleccionó ningún artículo, además podemos observar que a partir del año 2013 inicia las investigaciones de una manera progresiva, siendo el año 2019 con más artículos seleccionados cinco en total, y del presente año se seleccionaron tres artículos, demostrando que el presente tema de estudio es cada vez más importante en la etapa exploratoria.

Tabla 4

Porcentaje de artículos seleccionados de acuerdo con la temática investigada

Temática	Número de artículos	Porcentaje
Prospección Geoquímica	3	12.5
Blancos Exploratorio Prospección	2	8.3
Geoquímica y blancos exploratorios	7	29.2
Muestreo Geoquímico	3	12.5
Análisis Geoquímico	2	8.3
Muestreo por Stream Sediment	3	12.5
Muestreo por Rock Chips	1	4.2
Análisis por XRF	1	4.2
Análisis por ICP	1	4.2
Análisis por AAS	1	4.2
Total	24	100

De la Tabla 4, se puede notar que la temática buscada que relaciona los temas de Prospección Geoquímica y blancos exploratorios, han mostrado mejores resultados para la selección de artículos con una cantidad de 7 artículos y mostrando un 29.2 % del total.

Igualmente, para la búsqueda mediante los temas separados de Prospección Geoquímica y Blancos exploratorios se seleccionaron 3 y 2 artículos. Asimismo, la temática buscada de acuerdo con el tipo de muestreo ya sea por stream sediment y rock chips, nos permitió seleccionar 3 y 1 artículo respectivamente, haciendo un 12.5% y 4.2%. Los artículos donde hubo una selección menor están referentes con la temática de análisis geoquímico por ICP, AAS y XRF, para cada uno de ellos solo se seleccionó un artículo científico.

A la vez, se **mostrará** un análisis global de los estudios, en base al tipo de muestreo empleado, el tipo de análisis geoquímico, el tipo de elementos de interés, y asociación con diferentes tipos de depósitos; todo ello, nos permitirá responder la pregunta de investigación que se basa en la relación de la Prospección Geoquímica y la identificación de blancos exploratorios. Para ello se mostrarán tablas y figuras a continuación:

Tabla 5

Cantidad de artículos de acuerdo con el tipo de muestreo empleado

Tipo de muestreo	Cantidad de artículos
Stream Sediment	14
Rock Chip	6
Residuos residuales	5
Total	25

El método más usado en las investigaciones con 14 estudios seleccionados es el stream sediment, debido a que los minerales metálicos se concentran en los sectores bajos, especialmente los metales preciosos, debido a su alto peso específico. De tal manera el Rock Chip presenta 6 estudios seleccionados, siendo eficiente en puntos estratégicos donde haya

rocas alteradas o si presentan venilleo; igualmente para los residuos residuales con 5 estudios seleccionados, que se basan en realizar un re-muestreo para confirmar anomalías.

Tabla 6

Cantidad de artículos de acuerdo con el análisis geoquímico empleado

Tipo de Análisis Geoquímico	Cantidad de artículos que emplearon el análisis
Plasma de Acoplamiento Inductivo(ICP-AES)	12
Espectrometría de Absorción Atómica (AAS)	1
Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo(ICP-MS)	10
Fluorescencia de Rayos X(XRF)	2
Total	25

Se observa que, de los tipos de análisis geoquímicos empleados en los estudios seleccionados, los análisis geoquímicos ICP-MS e ICP-AES son los que más se han usado 10 y 12 estudios respectivamente, la razón de su uso es que presentan puede leer una gran cantidad de elementos y su susceptibilidad baja. Asimismo, el XRF y AAS son los menos usados con dos estudios y uno respectivamente, por el XRF es mejor para elementos mayores y la AAS tiene detecciones altas y es mejor emplearla cuando ya se descubra el cuerpo mineralizado.

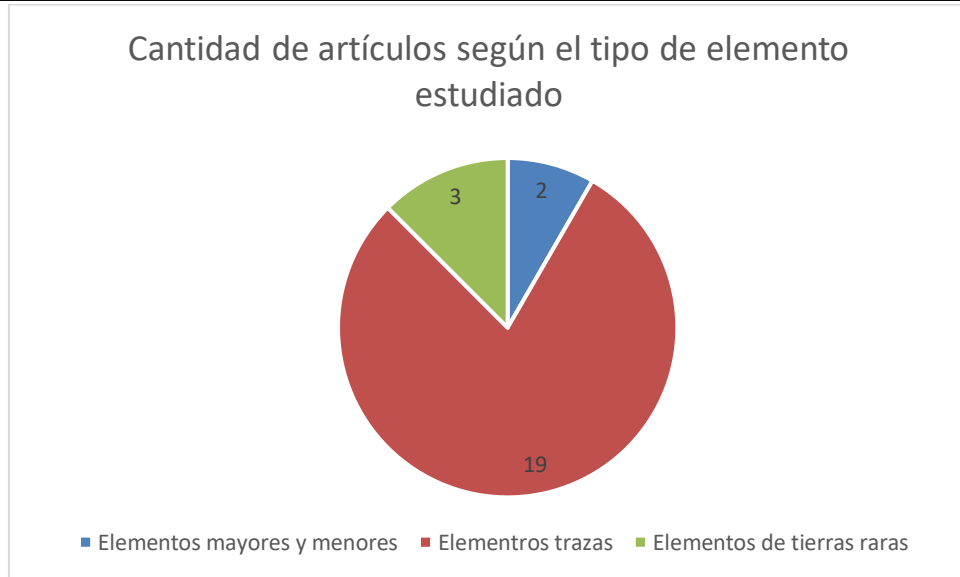


Figura 4. Cantidad de estudios en relación con el tipo de elemento estudiado.

Se muestra la cantidad de artículos que se ha realizado según el tipo de elemento que se desea investigar, mostrando una gran cantidad de artículos en total 19 para elementos trazas, ya que estos son los elementos guías para poder localizar algún depósito mineral. Para los elementos mayores y menores se seleccionaron 2 estudios, donde consistía prácticamente en reconocer la litología de las zonas de estudios, y para los elementos de tierras raras se seleccionó un estudio, ya que en la actualidad se busca aprovechar estos elementos en las diferentes industrias.

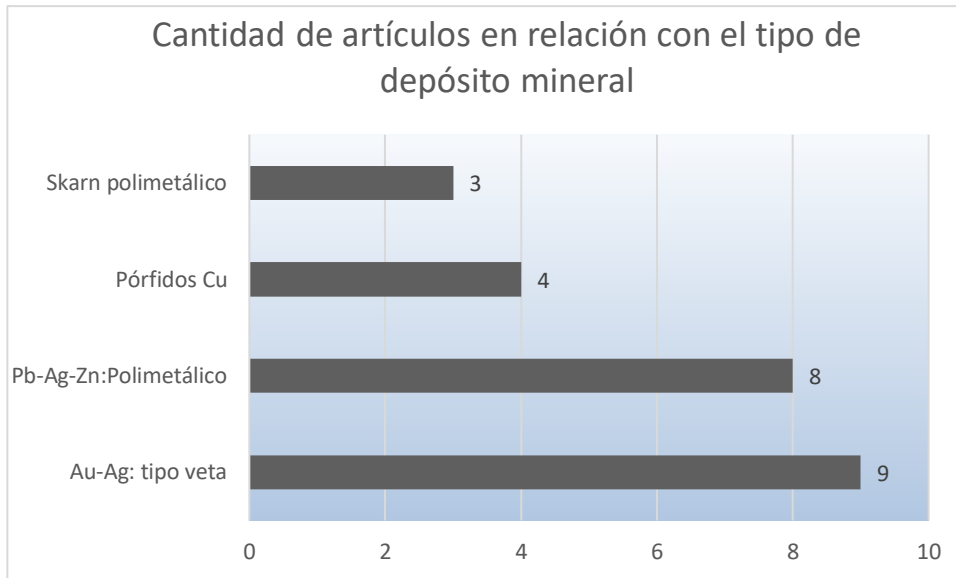


Figura 5. Cantidad de artículos en relación con el tipo de depósito de mineral asociado.

En la figura 5, se muestra la cantidad de artículos con respecto al tipo de depósito mineral, por la cual la mayoría de estos con un total de 9 se inclinan en los depósitos minerales de Au-Ag: tipo veta, ya que estos depósitos son muy importantes por su forma, tamaño de extensión y por su interés económico. De la misma manera sucede con los depósitos polimetálicos con 8 artículos, los Pórfidos de Cu con 4 artículos, y los Skarn polimetálico con 3 artículos.

Por consiguiente, según Fan et. al. (2017), Thanh Tien & Tuyen Danh(2019), y Almasi et al. (2017), demostraron que usando la prospección geoquímica basada en el muestreo por stream sediment, y aplicando el análisis geoquímico ICP-AES lograron correlacionar elementos como el Pb-Zn y Cu-Mo respectivamente, pudiendo así ubicar y delimitar zonas de estudios menores. Por otro parte Zhang et. al. (2013), y de Caritat (2018), comprobaron que usando el muestro por stream sediment combinándolo con rock chips en rocas que mostraban alteración, usando el análisis ICP-MS, y empleando el tratamiento estadístico de datos con herramientas actuales, identificaron targets con anomalías de Ag-Pb-Zn y Au. Asimismo, Cueva (2017), identificó blancos exploratorios polimetálicos empleando el muestreo por rock chips, el análisis geoquímico ICP y AAS, y usando diferentes análisis estadísticos con apoyo de softwares.

Los estudios mencionados en el párrafo anterior corroboran y acreditan lo mencionado por Fletcher (1981) y Howard (1983), donde mencionan que la premisa de la prospección geoquímica para la búsqueda de depósitos se basa fundamentalmente en el muestreo, análisis geoquímico y un buen tratamiento estadístico de datos, todos esos pasos realizados correctamente te permitirán tener zonas reducidas con mucha probabilidad de encontrar algún cuerpo mineralizado.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Conclusiones

La Prospección Geoquímica es una etapa inicial que permite realizar estudios de escalas regionales, mediante el empleo de un buen método de muestreo, análisis geoquímico, y tratamiento estadístico de datos, con el fin de delimitar a zonas más puntuales que muestran anomalías fuertes de diferentes elementos de interés, localizando de esa manera blancos exploratorios o *targets*. Demostrando así, que hay una relación directa entre estas variables, siempre y cuando se aplique de manera correcta la Prospección Geoquímica con los pasos mencionados y una buena interpretación por parte del Geólogo.

Asimismo, en base a los diferentes estudios que se presentaron en esta revisión sistemática, se identificó que los métodos más adecuados cuando se realiza un estudio desde cero es la combinación entre el stream sediment y rock chips, debido a que el stream sediment te permitirá reducir tu área de estudio y el rock chips a localizar de donde proviene la anomalía geoquímica. En cuanto, al método de análisis geoquímico para trabajos exploratorios, se debe emplear el ICP-AES o el ICP-MS, porque tienen buenos límites de detección bajos, y la AAS cuando en tu afloramiento se observa fácilmente la mineralización porque este análisis te permite detectar límites altos. Y una vez que se obtenga la data, se tiene que realizar un tratamiento estadístico de datos complementándolo con diferentes softwares, eliminando valores erráticos y que haya menos sesgo en los procedimientos. Todo ello, con la finalidad de pasar de estudios *Greenfield* a *Brownfield*, de manera segura ubicando los blancos de exploración.

Algunas de las limitaciones de esta revisión de la literatura científica se asocian a la naturaleza de los artículos seleccionados, que algunos de ellos no muestran de manera

completa el tratamiento estadístico de datos, ni dan cuenta de forma precisa acerca de cómo usar los diferentes softwares aplicados a la etapa prospectiva. Igualmente hubo dificultades a la hora de acceder a artículos de investigación, que contenían muy buena información, pero era difícil poder conocer los detalles y datos específicos de su implementación.

A pesar de las limitaciones presentadas, se recomienda seguir profundizando en estos temas, ya que en los últimos años el incremento de artículos va de manera ascendente, demostrando la importancia de este estudio. Igualmente, se recomienda al momento de la búsqueda de artículos se haga una búsqueda avanzada incluyendo las palabras claves, año de publicación y considerar el título de la publicación, y siempre leyendo el resumen ya que esto nos ayuda si hay relación directa con lo que estamos buscando o lo que se necesita.

REFERENCIAS

- Almasi, A., Jafarira, A., Peyman, A., & Rahimi, M. (2017). Prospectivity analysis of orogenic gold deposits in Saqez-Sardasht Goldfield, Zagros Orogen, Iran. *Ore Geology*, 91(8), 5935-5947. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.11.001>
- Bojo Canales , C., Fraga Medellin , C., Hernandez Villegas, S., & Primo Peña , E. (2012). *SciELO: un proyecto cooperativo para la difusión de la ciencia*. Revista Española de Sanidad Penitenciaria. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1575-06202009000200004&lng=es&tlng=es
- Codina Sanchez, L. (2018, 8 de Octubre). *Plataforma digital Elsevier*. Lluís Codina Net. <https://www.lluiscodina.com/science-direct-elsevier/>
- Concytec. (2016, 08 de Enero). *Alicia repositorio digital del CONCYTEC*. Portal Concytec. <https://portal.concytec.gob.pe/index.php/noticias/598-alicia-repositorio-digital-del-concytec-ya-cuenta-con-mas-48-mil-archivos-de-acceso-abierto>
- Cueva Salazar, P. G. (2017). *Prospección Geoquímica del Prospector Isabel Distrito Jircán-Huanuco*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- de Caritat, P. (2018). Continental-scale geochemical surveys and mineral prospectivity: Comparison of a trivariate and a multivariate approach. *Journal of Geochemical Exploration*, 188, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.01.014>
- Fan, Y., Mu , K., Huazhong, L., Jinsong, Y., Shaoping , Y., Dehui , Z., & Kuang, C. (2017). Discovery of Wolutu Pb-Zn deposit through geochemical prospecting under loess cover in Inner Mongolia, China. *Geoscience Frontiers*,8(5),951-960. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2016.08.007>
- FLETCHER, W. (1981). *Analytical Methods in Geochemical Prospecting*. Elsevier.
- Howarth, R. (1983). *Statistics and Data Analysis*. ElSevier.
- Mestas Huaracha, R. (2019). *Geología y Prospección Geoquímica del Prospector Rodrigo Alejandro, Provincia del Santa Departamento de Ancash*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

REDALYC. (2018, 9 de Mayo). *El significado de Redalyc*. Redalyc.
<https://www.redalyc.org/redalyc/acerca-de/mision.html>

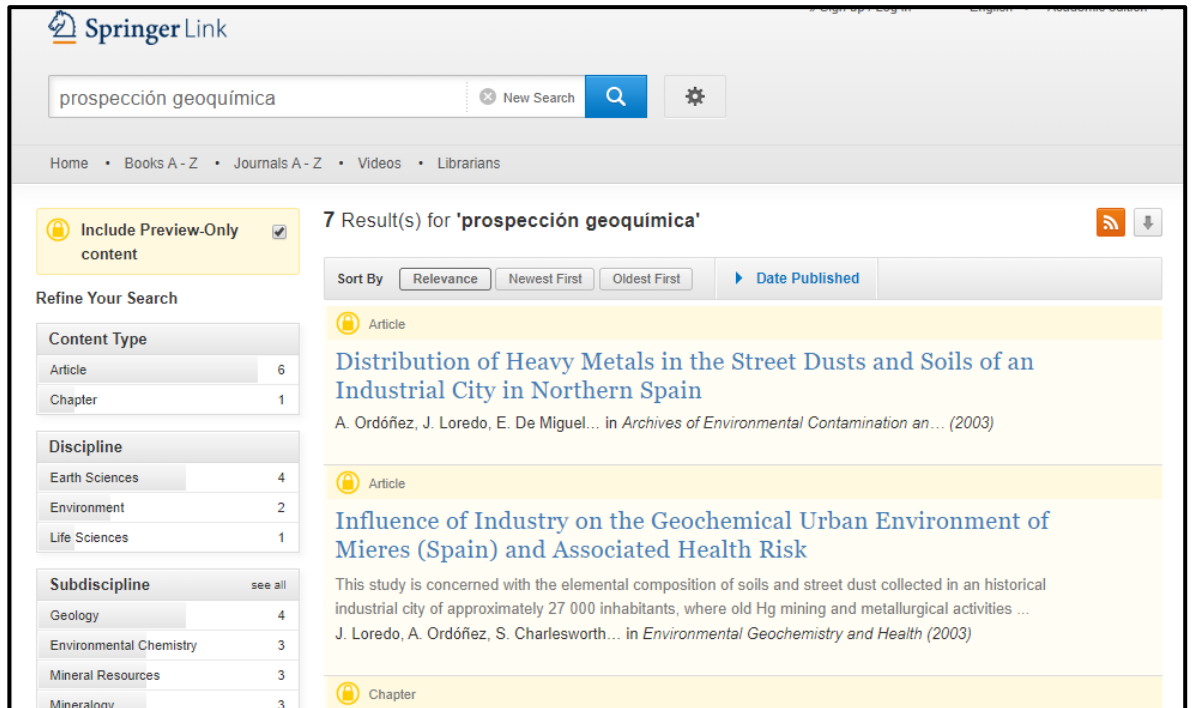
Sociedad Geológica Aplicada a Depósitos Minerales. (2017, 5 de Abril). *Sobre Mineralium
Deposita*. SGA-e. [//e-sga.org/publications/mineralium-deposita/](http://e-sga.org/publications/mineralium-deposita/)

Thanh Tien, N., & Tuyen Danh, V. (2019). Identification of multivariate geochemical
anomalies using spatial autocorrelation analysis and robust statistics. *Ore Geology
Reviews*, *111*(1), 10-38. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.102985>

Zhang, Y., Yong-Zhang, Z., Lin-Feng, W., Zheng-hai, W., Jun-guo, H., Yan-fei, A., Le, G.
(2013). Mineralization-related geochemical anomalies derived from stream sediment
geochemical data using multifractal analysis in Pangxidong area of Qinzhou-
Hangzhou tectonic joint belt, Guangdong Province, China. *Journal of Central South
University*, *20*, 184-192. <https://doi.org/10.1007/s11771-013-1475-1>

ANEXOS

Anexo N°01



The screenshot shows the SpringerLink search interface. The search bar contains 'prospección geoquímica'. Below the search bar, there are navigation links: Home, Books A - Z, Journals A - Z, Videos, and Librarians. The search results are displayed as follows:

- Search Results:** 7 Result(s) for 'prospección geoquímica'. Sort By: Relevance, Newest First, Oldest First, Date Published.
- Refine Your Search:**
 - Content Type:** Article (6), Chapter (1)
 - Discipline:** Earth Sciences (4), Environment (2), Life Sciences (1)
 - Subdiscipline:** Geology (4), Environmental Chemistry (3), Mineral Resources (3), Mineralogy (3)
- Results:**
 - Article:** Distribution of Heavy Metals in the Street Dusts and Soils of an Industrial City in Northern Spain. A. Ordóñez, J. Loredo, E. De Miguel... in *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* (2003)
 - Article:** Influence of Industry on the Geochemical Urban Environment of Mieres (Spain) and Associated Health Risk. This study is concerned with the elemental composition of soils and street dust collected in an historical industrial city of approximately 27 000 inhabitants, where old Hg mining and metallurgical activities ... J. Loredo, A. Ordóñez, S. Charlesworth... in *Environmental Geochemistry and Health* (2003)
 - Chapter:** (Title partially obscured)

Figura 6. Búsqueda de base de datos en Springer Link.

Anexo N°02



The screenshot shows the ScienceDirect search interface. The search bar contains 'prospeccion geoquimica'. Below the search bar, there are navigation links: Revistas y libros, Registrarse, and Iniciar sesión. The search results are displayed as follows:

- Search Results:** Encuentra artículos con estos términos: prospeccion geoquimica. Búsqueda Avanzada.
- Results:** 14 resultados results. ordenado por relevancia | fecha.
 - Resumen de la conferencia:** Precipitación de carbonatos en una antigua mina de esquisto bituminoso (SE Pirineos): evolución de la química de fluidos y su relación con la expulsión de petróleo. *Journal of Geochemical Exploration*, Volumen 101, Número 1, Abril de 2009, Página 15. MA Caja, A. Permanyer, JR Gallego, Alonso Zarza
 - Artículo de investigación:** Software orientado a la enseñanza geofísica. *Computadoras y Geociencias*, Volumen 26, Número 7, 15 de agosto de 2000, Páginas 809-814. Victor Pinto, Luis Rivero, Albert Casas
- Refinar por:**
 - Años:** 2013 (2), 2012 (1), 2009 (1)
 - Tipo de artículo:** Artículos de investigación (7)

Figura 7. Búsqueda de base de datos en ScienceDirect.