

Análisis de Componentes Principales de elementos traza en sedimentos de corriente de la cuenca Cháparra (Arequipa) como herramienta de prospección aurífera

Genaro Manuel Ypanaque Reto¹

¹ Domingo Sarmiento N° 377, Rímac, Lima-Perú, gypanaquere@gmail.com

1. Abstract

The Bi-Au-W geochemical association in stream sediments is spatially related to gold deposits in the Cháparra Basin (Coastal Cordillera, southern Peru). This and other associations were recognized using the statistical method of principal component analysis, being an effective tool to delimit areas of interest in geochemical prospecting by means of stream sediment sampling.

2. Introducción

La información cuantitativa obtenida de los análisis geoquímicos en muestras de sedimentos de corriente usualmente contiene una gran cantidad de variables. La técnica estadística multivariable de Análisis de Componentes Principales (ACP) utiliza las correlaciones existentes entre las variables para crear otras nuevas, que permiten reducir la información original e identificar asociaciones geoquímicas que se asocian a procesos geológicos.

El presente trabajo involucra el uso de ACP de elementos traza en sedimentos de corriente de la cuenca Cháparra (Arequipa) y tiene como objetivo determinar correlaciones multivariables que sean de utilidad en prospección aurífera en el área de estudio y en entornos similares. La base de datos de geoquímica como el software estadístico utilizado para el procesamiento de información son de libre disponibilidad y pueden descargarse de <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/> y <https://rstudio.com/>, respectivamente.

3. Área de estudio

Este trabajo comprende la cuenca del río Cháparra, ubicada en la zona NO del departamento

de Arequipa (Perú), ver Figura 1. La cuenca alberga cuantiosas unidades mineras, en su mayoría por tipo vetas auríferas (Chambi, 2014 y Deza, 2016). Según el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2017), los parámetros principales considerados en el diseño de muestreo son: una muestra compuesta por cada 4 km², recolectadas en quebradas de primer y segundo orden, preferentemente en la parte central del cauce y en donde no se evidencie contaminación de una u otra margen. El tamiz de malla utilizado en campo fue el ASTM N° 30 y se consideró 3 kg para muestras secas y 5 kg para muestras húmedas. Todas las muestras fueron sometidas a digestión agua regia. Los métodos analíticos de FA y AAS se utilizaron para el oro, mientras que para el resto de los elementos se utilizó el ICP-MS. En total se procesaron 511 muestras correspondientes a la Prospección Geoquímica Regional de los cuadrángulos de Cháparra y Ático.



Figura 1. Ubicación del área de estudio

3.1. Geología Regional

En la mayor parte de la cuenca Cháparra se emplazan rocas intrusivas cretácicas del Batolito de

la Costa. Hacia la parte NE y SO afloran formaciones sedimentarias y volcánico-sedimentarias del Jurásico-Cretácico. La Formación Huaylillas al oeste y la Formación Moquegua al este representan el vulcanismo del Neógeno en el área de estudio y están sobreyaciendo al resto de formaciones y cuerpos intrusivos. Respecto a la ocurrencia de mineralización aurífera, los cuerpos intrusivos del Batolito de la Costa comúnmente hospedan vetas de cuarzo-oro con espesores de 0.1 a 2.5 m (Chambi, 2014). Su emplazamiento está controlado por el contacto entre los diferentes pulsos intrusivos que forman el Batolito de la Costa en conjunto con los sistemas estructurales presentes (Palacios et al., 2011).

3.2. Selección de variables y pre-procesamiento de datos

Se utilizaron por cada muestra (511 en total), 29 variables o concentraciones elementales: Ti, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb, Sr, V, Y, Zn, Zr, Li, Be, Nb, Mo, Sb, La, W, Bi, Th, U, Co, Ni, Cd, As, Hg, Au, Sn y Ag. Los valores por debajo del límite de detección fueron reemplazados por la mitad del límite de detección inferior instrumental y todas las concentraciones (en ppb o ppm) fueron recalculadas a escala logarítmica natural, a fin de optimizar el grado de correlación estadística entre las variables. Los valores atípicos extremos superiores e inferiores no muestran influencia significativa en el presente estudio, por lo que fueron considerados en el análisis.

4. Análisis estadístico

4.1. Análisis Bivalente

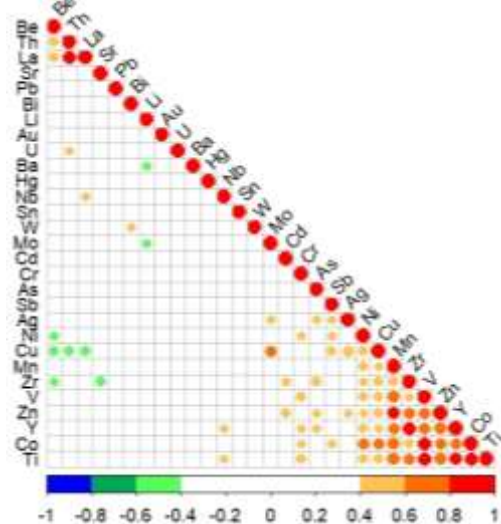


Figura 2. Matriz de correlación de Pearson

De acuerdo con la Figura 2, existen correlaciones muy altas (≥ 0.8) entre las variables en estudio. Entre las más resaltantes se tiene V-Co (0.91), Ti-V (0.90), Ti-Co (0.87), La-Th (0.87), entre otras.

4.2. Análisis Multivariante

4.2.1. Test de Esfericidad de Barlett

Este test se utiliza para evaluar si las variables en estudio tienen intercorrelación entre sí y se justifica un análisis factorial. Un valor de $p < 0.05$ resulta significativo para dicho análisis (Everitt & Wykes, 2001). Para el actual estudio se tiene un valor de $p < 2.2e-16$.

4.2.2. Medida de adecuación muestral de KMO

Este estadístico se utiliza para evaluar si las correlaciones entre pares de variables pueden ser explicadas por otras. Un valor superior a 0.70 sugiere una interrelación satisfactoria entre las variables (Hair et al., 1999). Para el presente análisis se tiene un valor de 0.81.

4.2.3. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Mediante esta técnica se puede reducir el número de variables considerando las correlaciones existentes entre las variables originales. Estos componentes explican la mayor parte de varianza total, por lo que la pérdida de información es mínima.

En una primera instancia, se calcula tantas componentes como variables se tenga (29). Posteriormente, en base a criterios gráficos (Figura 3) y numéricos (Tabla 1), se selecciona el número de componentes óptimo para nuestro análisis.

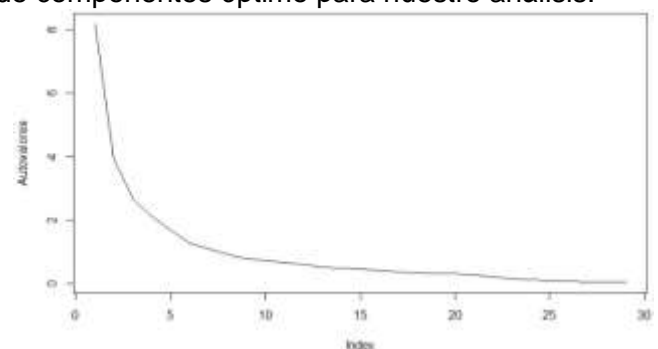


Figura 3. Gráfico de sedimentación

El criterio gráfico (Cattell, 1966), consiste en analizar el gráfico de sedimentación, en donde el número de componentes óptimo está representado por el punto de inflexión a partir del cual la gráfica es lineal y de poca pendiente.

Tabla 1. Autovalores o varianzas de los componentes principales

En la Tabla 1 las celdas resaltadas representan los componentes, y los valores contiguos inferiores

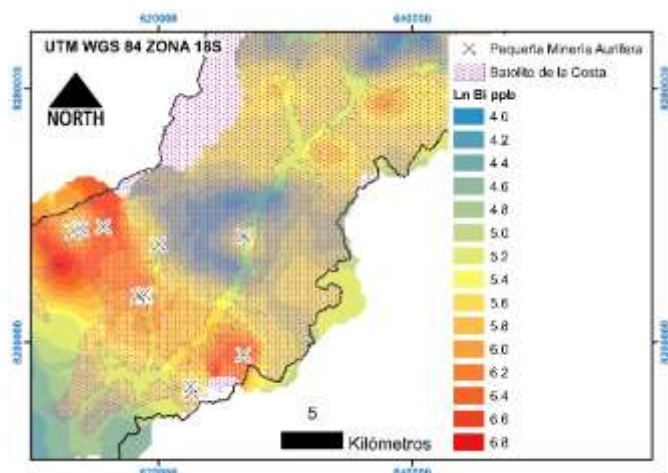


Figura 7. Dispersión (Kriging Ordinario) del Ln Bi ppb en la cuenca Cháparra

7. Conclusiones

El ACP permite identificar asociaciones geoquímicas (p.ej. Bi-Au-W) mediante nuevas variables (p.ej. Componente RC3). Los sistemas magmáticos-hidrotermales de oro en la cuenca Cháparra explican la ocurrencia de la asociación geoquímica Bi-Au-W.

Se deduce además que el bismuto y el tungsteno se comportan como elementos *pathfinder* geoquímicos de oro, siendo de utilidad en prospección de vetas auríferas en entornos similares. Se concluye que el ACP, como parte de la estadística multivariable, es una herramienta efectiva para identificar asociaciones geoquímicas y delimitar áreas de interés en prospección geoquímica, por medio de muestreo en sedimentos de corriente.

Agradecimientos

A la E.P. de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Al Ing. Luis Vargas Rodríguez, por sus valiosos aportes para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- Cattell, R. 1966. The Scree Test for the Number of Factors. *Multivariate Behavioral Research*, 245-276.
- Chambi, A. 2014. Proyecto de Explotación de la Veta la Picada por el Método Corte y Relleno Ascendente Empresa Minera Aurífera Estrella - Caravelí - Arequipa. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, tesis de grado, 101 p.

Deza, C. 2016. Factibilidad Técnico-Económico del Proyecto de Ampliación en la Mina Abigail Estefanía en el Departamento de Arequipa. Universidad Nacional de Trujillo, tesis de grado, 85 p.

Everitt, B., & Wykes, T. 2001. *Diccionario de Estadística para Psicólogos*. España: Ariel.

Hair, J., Anderson, R.E., Tatham, R.L. & Black, W. 1999. *Análisis Multivariante*. Madrid: Prentice Hall.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. 2017. *Atlas Geoquímico del Perú*. Obtenido de <https://www.ingemmet.gob.pe/-/atlas-geoquimico-del-peru-segunda-version-2017>

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. 2018. *GEOCATMIN*. Obtenido de <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Kaiser, H. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, 187-200.

Palacios, S., Alfonso, P., & Mata-Perelló, J. 2011. Caracterización del Yacimiento de Oro de Misky, Sur del Perú. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 159-160.