



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

MODELADO MULTIFRACTAL PARA EL DELINEADO DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS A ESCALA REGIONAL

Fabrizio Sánchez Camacho¹, Elvis Sánchez¹, Inés Trinidad¹, Jovita Soaña¹, Edid Iquiapaza¹

¹Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. INGEMMET, Av. Canadá 1470 – San Borja, Lima, Perú.

Email: asanchez@ingemmet.gob.pe

RESUMEN

En esta investigación, el objetivo principal es el delineado de anomalías geoquímicas utilizando modelos fractales. Se eligieron los datos colectados, en las subcuencas Alto Camaná y Hornillos Alto (Arequipa), donde se tiene 240 muestras de sedimentos de corriente y 273 muestras litogeoquímicas fueron recolectadas y se aplicaron los modelos fractales N-S y C-A, con el fin de reconocer anomalías de As, Pb y Zn. Los resultados muestran la multifractalidad de la dispersión de los elementos y una correlación positiva entre las zonas anómalas y los yacimientos existentes en las unidades volcánicas del Mioceno (grupos Tacaza, Palca y Barroso Inferior).

Palabras clave: modelos, fractales, geoquímica, Caylloma, cenozoico, volcánicas

ABSTRACT

In this research, the main objective is the delineation of geochemical anomalies using fractal models. In the Alto Camaná and Hornillos Alto sub-basins (Arequipa), 240 stream sediment samples and 273 lithogeochemical samples were collected and the N-S and C-A fractal models were applied, in order to recognize As, Pb and Zn anomalies. The results show the multifractality of the dispersion of the elements and a positive correlation between the anomalous zones and the existing deposits, located in Miocene volcanic units (Tacaza, Palca and Barroso Lower groups).

Keywords: models, fractals, geochemistry, Caylloma, Cenozoic, volcanic

INTRODUCCIÓN

Los métodos estadísticos convencionales utiliza-

dos para el cálculo del *background* y *threshold* tienen ciertas dificultades tales como la necesidad de una malla, suposición de la distribución normal de los datos, variabilidad espacial, eliminación de los *outliers*, etc.; que pueden generar errores en el delineado de zonas anómalas. Los modelos fractales pueden abordar eficientemente estos inconvenientes. El concepto de fractal fue introducido por Mandelbrot (1983), y se refiere a objetos que son muy irregulares para ser descritos por la geometría Euclídeana ordinaria. En base a ello, se han desarrollado diversos modelos fractales en la exploración geoquímica (Cheng et al., 1994; Sadeghi et al., 2012; Daya, 2014). Se eligieron las subcuencas de Alto Camaná y Hornillos Alto como zona de estudio para aplicar los modelos fractales N-S (Mandelbrot, 1983) y C-A, (Cheng, 1994), sin embargo para el presente resumen, solo se mostrará el modelo N-S para demostrar su eficacia en el delineado de anomalías geoquímicas, validando el modelo fractal con minas existentes y mapas de anomalías realizados con el método tradicional sin necesidad de una malla de muestreo.

MARCO GEOLÓGICO

Las subcuencas de estudio abarcan casi en su totalidad, las hojas de Chivay (32s) y Caylloma (31s), estas se encuentran en la parte central de los Andes, al SE del Perú, donde se tienen yacimientos importantes como Madrigal y Caylloma (Au, Cu, Pb, Zn), además de proyectos como Humajala y el Molino (Au). Los afloramientos más antiguos corresponden al Mesozoico, estos son el Grupo Yura y la Formación Murco que están constituidos principalmente de sedimentos siliciclásticos. Para el Cenozoico, se ha reconocido las unidades volcánicas de los grupos Tacaza, Palca, Sillapaca y Barroso (Davila 1988 y Palacios 1991, Cerpa &

Paniagua 2009, Cereceda & 2008), divididos en centros volcánicos. Por último, las unidades más recientes corresponden a depósitos glaciares, morrénicos y aluviales (Figura 1).

LITOGEOQUÍMICA Y SEDIMENTOS DE QUEBRADA

Se han utilizado 250 datos de sedimentos de quebrada dentro del área de estudio, colectadas en estudios anteriores del INGEMMET (2002, 2011-

Geocatmin). Además, se tienen 273 muestras litogeoquímicas de roca, las cuales son parte de los estudios litogeoquímicos de subcuencas hidrográficas colectados por el Proyecto GR38A en el 2017 en dichas subcuencas. Se utilizó el método analítico ICP-MS para la obtención de la geoquímica de las muestras. Los elementos seleccionados para la presente trabajo fueron As, Pb y Zn. En la Figura 1 se muestra la distribución espacial de las muestras.

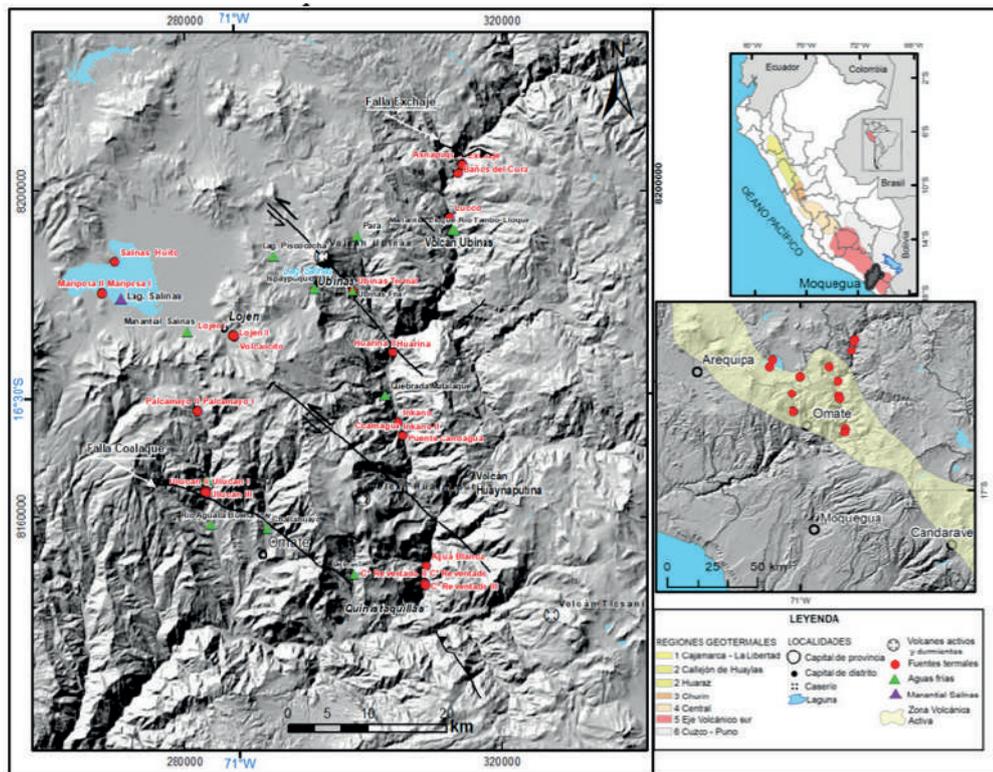


Figura 1: Mapa geológico y de distribución de muestras de la zona de estudio. Fuente: INGEMMET

METODOLOGÍA

El modelo Number-Size (N-S) es descrito por la ecuación (i); donde “N” denota el número acumulativo de muestras con una concentración mayor o igual a “C”, “k” es una constante y “D” es la dimensión fractal perteneciente a cada población geoquímica, la cual cumple con una ley de potencia. Al colocar estos valores en una gráfica logarítmica (LogN vs. LogC) se obtienen rectas con diferentes pendientes, los puntos de quiebre o cambio de pendiente se usan como los valores de *background* y *threshold*.

$$N_{(\geq r)} = kC^{-D} \dots(i)$$

APLICACIÓN DE LOS MODELOS FRAC-TALES

Se procesaron los datos de sedimentos de quebrada y litogeoquímica con el modelo N-S. En la Figura 2 se muestra el modelo fractal N-S de los elementos As y Zn. Los puntos de cambio de pendiente (señalados con flechas rojas) son los valores que separan los datos geoquímicos en diferentes poblaciones, que pueden representar diferentes factores (tipo de roca, mineralización, alteración, etc). Los valores obtenidos aplicando el modelo N-S en sedimentos de quebrada fueron comparados con Paz *et al.* (2002). Las muestras de roca (litogeoquímica) fueron comparadas con Wedepohl (1969) con el fin de discriminar las poblaciones geoquímicas anómalas de las normales. Se generaron mapas geoquímicos de estos 3 elementos, haciendo una interpolación de datos

(IDW) en función de los sedimentos de quebrada, con el fin de delinear las anomalías geoquímicas, estos mapas se muestran en la **Figura 3**.

RESULTADOS

Se obtuvieron entre 3 y 4 poblaciones geoquímicas para cada uno de los elementos analizados, lo que evidencia el comportamiento multifractal de la dispersión de los elementos. Los mapas geoquímicos (**ver figura 3**) muestran 3 principales zonas anómalas dentro de las subcuencas coincidiendo con la ocurrencia de depósitos minerales importantes como Madrigal y Caylloma, además de hallarse una anomalía importante de Pb y Zn al noreste de la subcuenca Hornillos Alto. Los valores altos de As en rocas (139-1140 ppm) se

encuentran en tobas de ceniza y rocas alteradas de los centros volcánicos Soncco y Sibayo (Grupo Palca) y en Subvolcánicos Andesíticos del Mioceno. Los valores altos de Pb en rocas (137-1490 ppm) corresponden a rocas alteradas (silicificadas) de la Unidad Tuti, a tobas del Centro Volcánico Soncco y a Subvolcánicos Andesíticos del Mioceno. Los valores altos del Zn en rocas (155-2720 ppm) están en rocas alteradas y tobas de ceniza andesíticas del Centro Volcánico Soncco, también se tiene valores moderadamente altos en tobas de ceniza con líticos de la Secuencia Volcánica Ichocollo en contacto con Subvolcánicos Andesíticos. En adición, se observa una buena correlación espacial entre las fallas y pliegues con las anomalías de As y Pb.

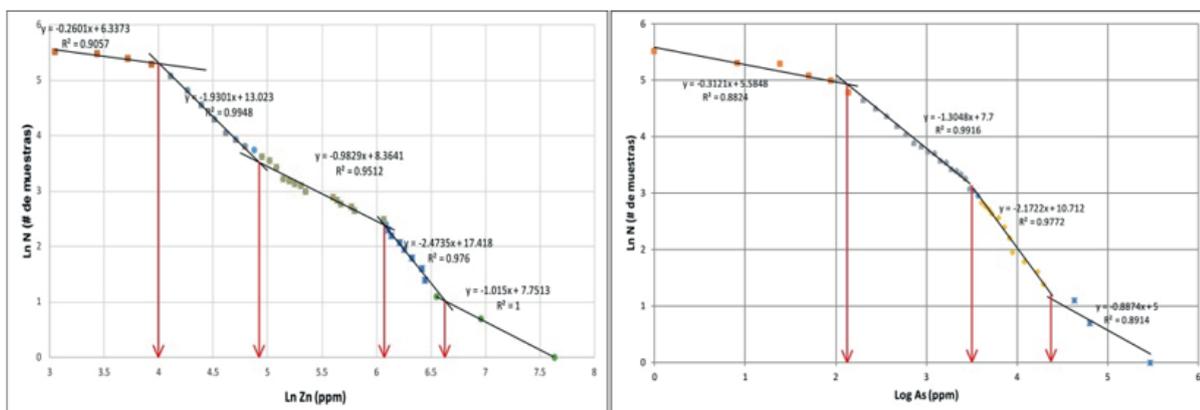


Figura 2: Gráficas del modelo fractal N-S del As y Zn en sedimentos de quebrada

Tabla 1: Resumen de los valores obtenidos con el modelo fractal N-S. [x]:Background (Paz et al., 2002). (y): Valor promedio de corteza continental (Wedepohl, 1969)

| | | Elemento (ppm) | Zn | Pb | As |
|-------------|----------|----------------|--------------|--------------|-------------|
| S. quebrada | | Background | 54.7 [61] | 17.4 [16.6] | 8.42 [10.6] |
| | Anomalía | Baja | 136-434 | 52.3-168.9 | 32.2-85.2 |
| | | Media | 434-755 | - | 85.3-377.9 |
| | | Alta | - | 168.8-200.9 | - |
| | | Muy Alta | 755-2373.5 | 200.9-2505.2 | - |
| Litogeoq. | | Background | 73.1 (57.1) | 10 (17) | 1.9 (1.5) |
| | Anomalía | Baja | 127.7-154.61 | 30.9-137 | 5.4-14.8 |
| | | Media | - | - | 14.8-139.7 |
| | | Alta | 154.6-2720 | 137-1490 | 139-1140 |

CONCLUSIONES

Se comprueba que para la aplicación de los modelos fractales no es necesario realizar una malla de muestreo, esto se infiere de los resultados obtenidos donde se observa una correlación positiva entre las zonas anómalas delineadas por los sedimentos de quebrada y los valores altos de las muestras litogeoquímicas. Asimismo, se validan los modelos fractales al encontrarse las minas existentes dentro de las anomalías, además estas coinciden

y mejoran el delineado de las zonas anómalas obtenidas en los estudios de la Franja N°2 hechos por el INGEMMET (Paz et al., 2002)(Figura 3) realizados con el metodo tradicional. Adicionalmente, de la comparación con la geología se obtiene que el Centro Volcánico Soncco y Sibayo (Grupo Palca), la Secuencia Volcánica Ichocollo y la Unidad Tuti (Grupo Tacaza) están relacionados con las anomalías de As, Pb y Zn.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cheng, Q., Agterberg, F. P., & Ballantyne, S. B. (1994). The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51(2), 109–130.
- Dávila, D. (1988). Geología del cuadrángulo de Cailloma, hoja 31s. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional N°40, 93 p.
- Mandelbrot, B. B. (1983). *The fractal geometry of nature/Revised and enlarged edition*. New York, WH Freeman and Co., 1983, 495 p.
- Palacios, O., De la Cruz, J., De la Cruz, N., Klinck, E. & Hawkins, M. (1993). Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca – sur del Perú (Proyecto integrado del Sur). INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional N°42, 257 p.
- Paz, M., et al. (2002). Estudio de los recursos minerales del Perú Franja N° 2. INGEMMET. Boletín. Serie B: Geología Económica N° 11, 392p
- Sadeghi, B., Moarefvand, P., Afzal, P., Yasrebi, A. B., & Saein, L. D. (2012). Application of fractal models to outline mineralized zones in the Zaghia iron ore deposit, Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 122, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.04.011>
- Wedepohl, K.H. (1969). *Handbook of Geochemistry* (Vols. 1-5). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.