



Caracterización geoquímica de sedimentos de quebrada en los alrededores del yacimiento minero Madrigal (Chivay, Arequipa)

Nathaly Guillén y Ronald Vásquez

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú (mguillen@ingemmet.gob.pe)

1. Introducción

La composición química de los sedimentos de quebrada está ligada a la dispersión de los iones metálicos en solución, transportados como resultado de los procesos de acción del intemperismo y erosión. El objetivo del presente trabajo consiste en determinar los patrones de distribución de los elementos trazas como As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, y algunos elementos del grupo de las tierras raras (REE).

El área de estudio se ubica en la zona sur del territorio peruano, enmarcado dentro de la provincia de Caylloma, distrito de Chivay (Arequipa), hidrográficamente dentro de la microcuenca del río Colca (Fig. 1), en el entorno de la mina subterránea Madrigal, donde ocurren sulfuros de Pb, Zn, y Cu.

2. Geología y mineralización

El contexto geológico es netamente volcánico (Fig. 2), dominado por el Grupo Tacaza (lavas andesíticas, tobas dacíticas; Mioceno). En los extremos del área aflora la unidad volcánica Sillapaca (Mio-Plioceno), y en las partes altas ocurre una secuencia de tobas andesíticas, traquiandesíticas, y dacíticas, que corresponde a la unidad volcánica Barroso. Se conoce una edad de 6.9 ± 1.3 Ma (Cordani et al., 1985).

Dado este contexto geológico, los sedimentos de quebrada son mayormente de naturaleza volcanodetrítica, provenientes de la alteración de rocas extrusivas, siendo en este caso las andesitas las que contribuyen con el mayor porcentaje (80 %). Este hecho tiene implicancias geoquímicas obvias.

Dentro de este contexto regional afloran otras unidades, que incluyen la Formación Labra del Jurásico superior (areniscas cuarzosas), y algunas intrusiones de rocas dioríticas y monzoníticas, además de diques dacíticos y

riolíticos.

El área corresponde a la franja polimetálica con superposición epitermal del Mioceno, donde el Grupo Tacaza actúa como roca huésped, albergando vetas hidrotermales con mineralización de galena, esfalerita, calcopirita, que genéticamente están asociadas a este vulcanismo (Fig. 2)).

En la zona se encuentran otros yacimientos como Satélite y Minaspunta, con mineralización de Pb, Ag, Zn y Cu.

3. Metodología

El muestreo se llevó a cabo en el mes de agosto del 2008 (época seca), donde se seleccionaron 13 muestras para efectos del presente estudio. Los sedimentos proceden de un ambiente volcánico (Tacaza y Barroso), los cuales se han pre-tamizado en campo a malla 30, y analizado finalmente a malla 200, mediante ICP-MS con digestión de agua regia.

Los datos obtenidos de 27 elementos químicos fueron tratados estadísticamente mostrando una distribución log-normal. Previa evaluación estadística bivariada (correlación de Pearson) y multivariada (análisis de componentes principales y conglomerados), se determinó las principales asociaciones de elementos químicos que caracterizan la mineralización para este contexto geológico o probables focos de contaminación.

Entre estos elementos se ha dado énfasis a ciertos elementos pesados: As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn, porque su biodisponibilidad en los sedimentos puede ser tóxica. Además, se calculó el factor de enriquecimiento (FE) de As, Cu, Cr, Co, Ni, Pb, y Zn, utilizando el valor del *background* para el ambiente geológico tratado.

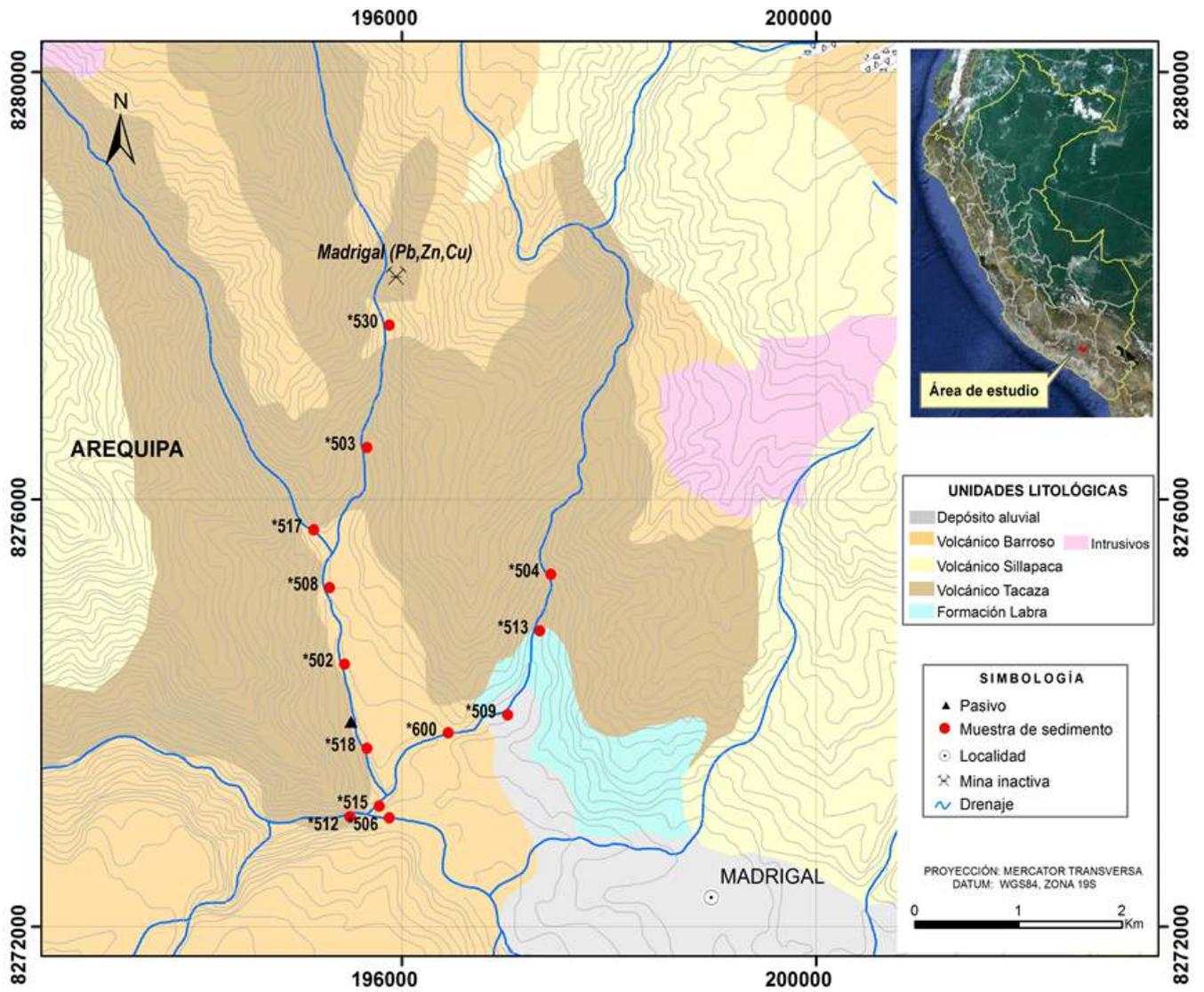


Figura 1. Ubicación y geología de la zona de estudio.



Figura 2. Izq.: Flujos de lavas andesíticas del Grupo Tacaza. Der.: Agua filtrada de mina con pH 9.79, al nivel de la veta Santa Rosa.

4. Interpretación y discusión

4.1. Dispersión química secundaria

La mayor dispersión y menor concentración de los metales se ubican en el curso inferior, a partir de la confluencia de las quebradas Punco y Chimpa (XX), tales como Cr, Ni, Co, disminuyendo a su llegada al río Colca (Fig. 3). Con moderada dispersión se encuentra As y Cd, y con menor dispersión pero alta concentración Cu, Pb, Zn,

y Fe (Fig. 4) en su curso superior (quebradas Cahuira y Keto). Mn presenta una mayor dispersión y concentración a lo largo de su curso medio (quebradas Chimpa, Punco), disminuyendo aguas abajo (río Colca).

En ambos gráficos se puede notar que las concentraciones de los metales pesados son bajas al llegar a las aguas del río Colca, permitiendo que estos metales se diluyan y no causen ningún daño ambiental en esa zona. Sin embargo, hay que considerar las concentraciones de las partes altas (Guillén, 2010).

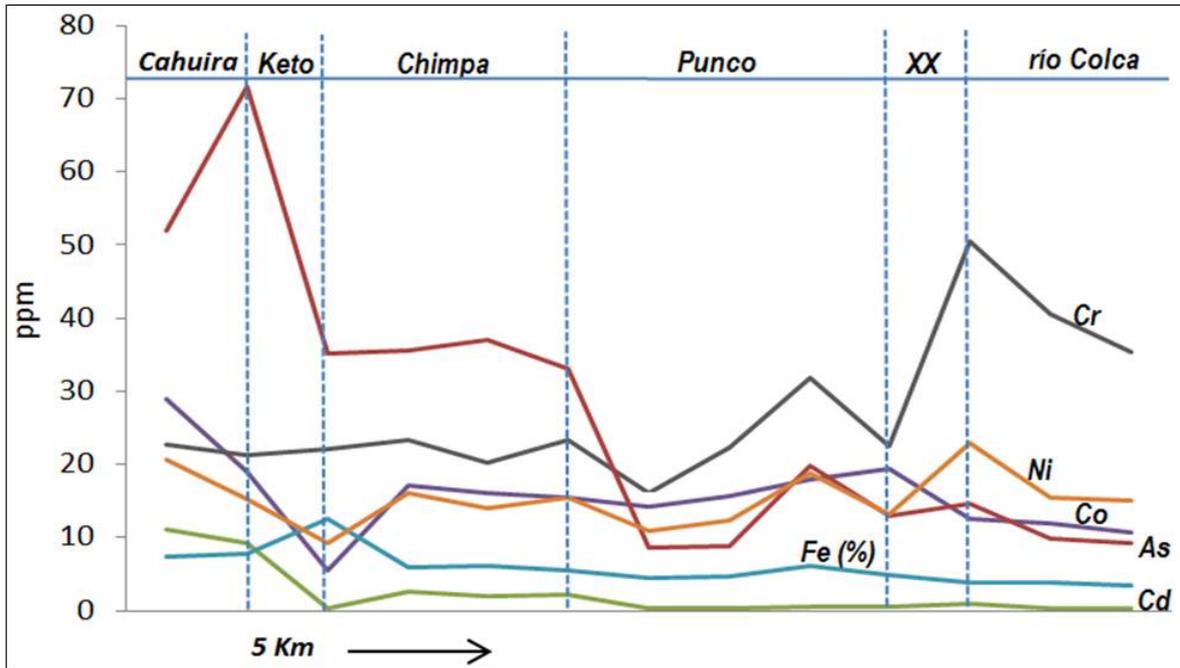


Figura 3. Variabilidad de los puntos de muestreo.

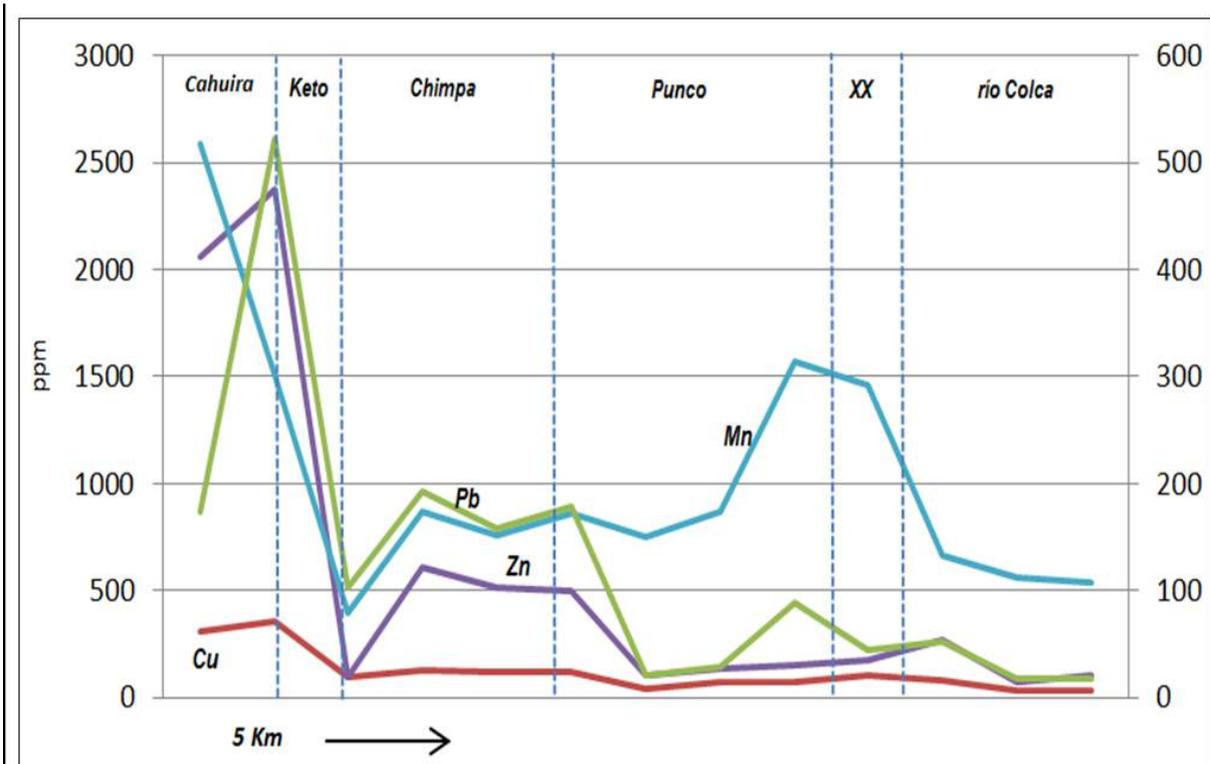


Figura 4. Dispersión de Cu, Pb, Zn, y Mn.

4.2. Asociaciones geoquímicas

La correlación de Pearson y el análisis de componentes principales permiten conocer el número de variables correlacionadas usando la rotación ortogonal de varimax normalizado, el cual consiste en maximizar la suma de las varianzas de las cargas factoriales al cuadrado dentro de cada factor, dividida por la comunalidad de la variable correspondiente, evitando de esta manera que las variables con mayores comunalidades tengan más peso en la solución final (Machado et. al., 2005). Realizado este procedimiento, obtenemos la matriz de componentes rotados, que muestra tres asociaciones geoquímicas.

4.2.1. Componente 1

En este contexto volcánico del Paleógeno-Neógeno, se tiene la asociación Co, Mn, Dy, Er, Gd, Ho, Nd, Sm, Tb, Tm, Yb (REE), con una índice de correlación positiva > 0.7. Esta asociación evidencia un origen geogénico,

característico para este contexto geológico.

Hay otro grupo de elementos que tienen una correlación negativa como Ag, As, Bi, Fe, Mo, Sb (Fig. 5a).

4.2.2. Componente 2

Este componente muestra una correlación positiva (> 0.7) entre los principales metales pesados, además de dos otros elementos trazas, como es el caso de Ag, As, Bi, Cd, Cu, Fe, Pb, Zn, Mo, Sb, Eu, y Ga. La relación entre estas variables proviene de la mineralización polimetálica característica de la zona; Eu y Ga están ligados a los sulfuros (Rankama & Sahama, 1958). El otro grupo de elementos con correlación negativa está conformado por algunas tierras raras (Fig. 5b).

4.2.3. Componente 3

La asociación resultante está dada por La y Nd, con un índice de correlación > 0.6.

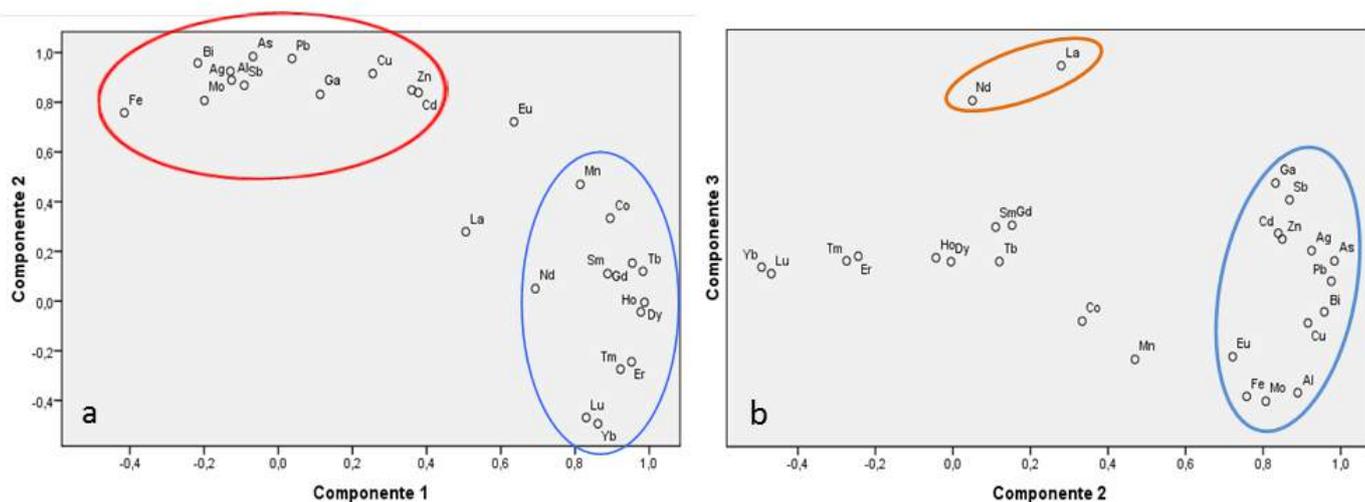


Figura 5. Gráfico de componentes rotados por variables; a: componentes principales 1-2; b: componentes principales 2-3.

4.3. Análisis cluster

En el dendograma por variables destacan dos grandes clusters formados por:

- As-Ag-Bi-Cd-Cu-Fe-Pb-Zn-Sb-Mo-Ga;
- La-Nd-Er-Eu-Tm-Lu-Yb-Dy-Ho-Gd-Tb-Sm-Co-Mn.

Sin embargo, existe una serie de subgrupos dentro de estas asociaciones (Fig. 6). Se observa dentro de la asociación de metales pesados que Cd y Zn guardan una primera relación, para posteriormente asociarse con el Cu y con el subgrupo de As, Ag, Bi, Pb, Sb, que finalmente se relacionan con Ga, Fe y Mo.

Cada uno de estos subgrupos puede evidenciar un episodio en el aporte de mineralización en la zona o una guía para la exploración en este tipo de ambiente geológico.

4.4. Factor de enriquecimiento

Se utiliza este factor para identificar la fuente de aporte de un elemento presente en el sedimento. El factor de enriquecimiento (FE) se calcula dividiendo la concentración del elemento reportada por el laboratorio entre la concentración media (*background*) del elemento en sedimentos para este tipo de contexto geológico. Estos datos del valor de fondo fueron tomados del inventario de recursos minerales de la Franja n°2 elaborado por INGEMMET en el año 2002.

En la Figura 7 se observa que Cu, Pb y Zn presentan un factor de enriquecimiento elevado ($FE > 1$), donde Pb y Zn muestran un enriquecimiento significativo entre 2 a 4. Este enriquecimiento es menor para Cu, mientras que los elementos como Ni y Co se presentan en concentraciones normales, y Cr con valores muy bajos ($FE < -0.5$).

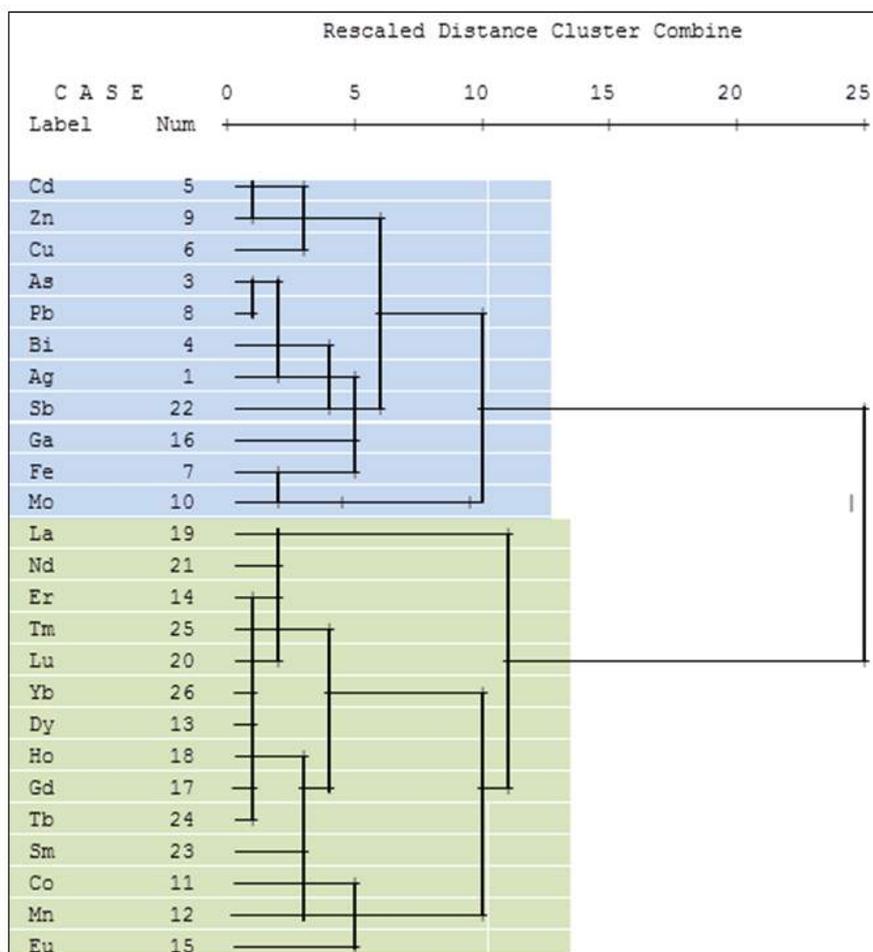


Figura 6. Método de conglomeración.

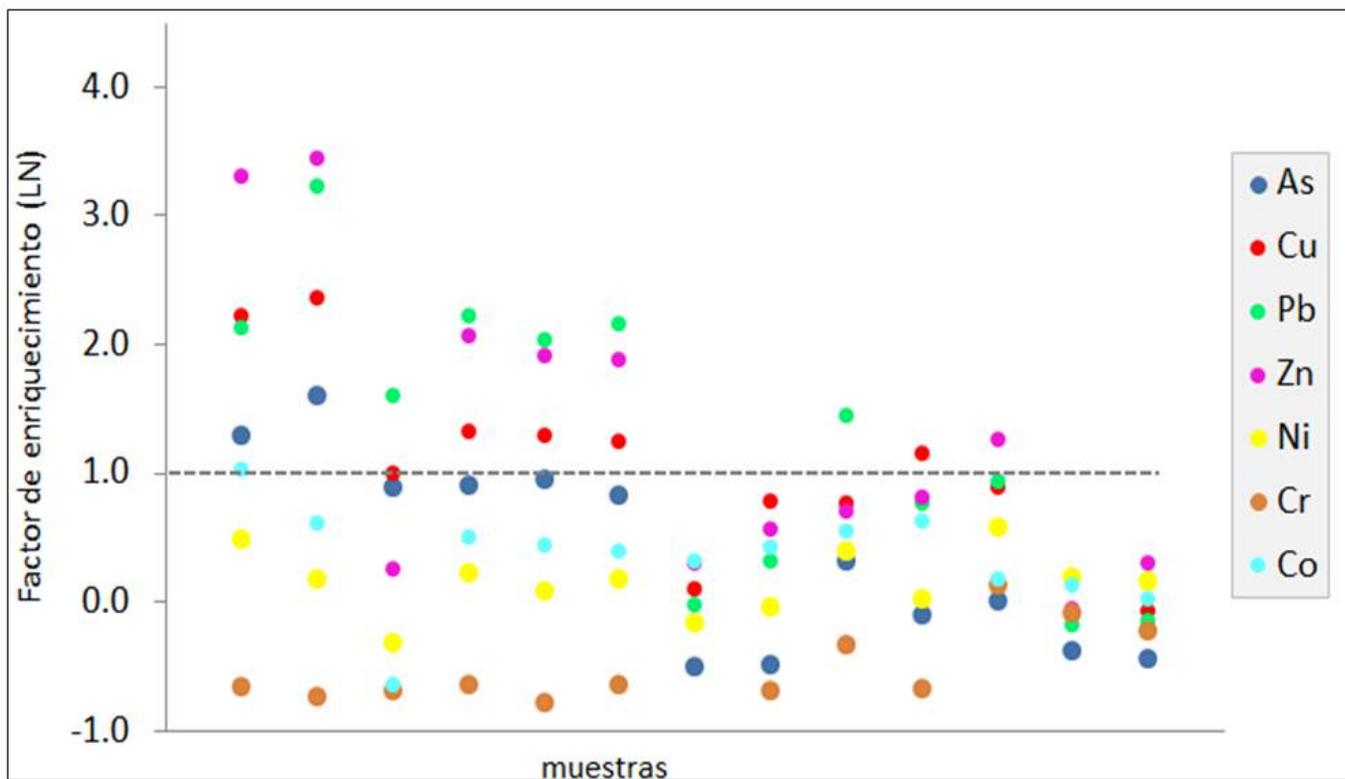


Figura 7. Factor de enriquecimiento en elementos metálicos.

5. Conclusiones

Las concentraciones elevadas y la dispersión baja de los elementos Pb, Zn, Cu se presentan en las partes altas (quebradas Cahuira y Keto), ratificando la mineralización de sulfuros del yacimiento Madrigal, con menor dispersión para el As y Cd, y con concentraciones bajas; sin embargo, se evidencia una alta dispersión para Co, Mn, y Ni.

Al llegar al río Colca, las concentraciones de elementos metálicos se diluyen, no contaminando el medio ambiente para el sector de Madrigal.

De acuerdo al análisis estadístico existen dos asociaciones bien definidas. La asociación Co-Mn-Dy-Er-Eu-Gd-Ho-La-Nd-Sm-Tb-Tm-Yb, cuya fuente de origen es de carácter litogénico, refleja un contexto volcánico. En cambio, la asociación As-Ag-Bi-Cd-Cu-Fe-Pb-Zn-Mo-Sb-Ga está relacionada a la franja polimetálica que alberga al yacimiento de Madrigal.

El enriquecimiento en Pb, Zn y Cu es significativo en comparación con el factor de enriquecimiento para Co, Ni y Cr, probando su fuente de aporte.

El galio (Ga) puede ser considerado como un *pathfinder* en la búsqueda de depósitos similares al yacimiento de Madrigal, ya que está ligado a los sulfuros.

Referencias

- Cordani, U.G., et al. 1985. Geochronological results from the southeastern part of the Arequipa Massif. Comunicaciones, Universidad de Chile, v. 359, p. 45-51.
- Machado, A., et al. 2005. Geochemical characterization of surficial sediments from the southwestern Iberian continental shelf. Journal of Geochemical Exploration, v. 31, p. 161-177.
- Guillén, M. 2010. Concentración de metales pesados en los alrededores del yacimiento minero Madrigal. Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 224 p.
- Rankama, K., Sahama, G. 1954. Geoquímica. Ed. Aguilar, Madrid, 862 p.
- INGEMMET. 2002. Estudio de los recursos minerales del Perú: Franja n°2. Boletín INGEMMET, Serie B: Geología económica, v. 11, 391 p.