

# DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DE TIERRAS RARAS Y OTROS ELEMENTOS TRAZA EN LA FRANJA POLIMETÁLICA 9°-10°S DEL PERÚ CENTRAL

Ronald VÁSQUEZ OLIVA<sup>1</sup>, Jorge CHIRA FERNÁNDEZ<sup>1</sup>, Alejandro LAGOS MANRIQUE<sup>2</sup>

rvasquez@ingemmet.gob.pe, jchira@ingemmet.gob.pe, alagosman@hotmail.com

<sup>1</sup>Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Cajamarca

## RESUMEN

El objetivo particular de esta investigación es caracterizar la distribución geoquímica de los elementos de tierras raras y otros elementos traza dentro de la franja polimetálica, con el fin de prospectar y/o explorar por nuevas ocurrencias minerales en los mismos ambientes geológicos.

Para determinar los niveles de fondo de estos elementos se muestrearon 584 sitios de sedimentos, divididas en cinco ambientes litológicos; estos se escogieron considerando la unidad litológica, edad, geoformas, drenaje y una densidad de muestreo de 1/10 Km<sup>2</sup>. Previa evaluación estadística se han trabajado con 22 elementos: Cu, Zn, Ag, Pb, Mo, Cd, Sb, As, Mo, U, Th, Ga, V, Cr, Ni, Co, Ce, La, Tb, Y, Yb, Lu; los cuales se procesan por métodos paramétricos según la tendencia a la distribución normal, obteniendo los respectivos umbrales geoquímicos. Asimismo se aplica la estadística bivariada y multivariada para caracterizar las asociaciones geoquímicas en cada población estadística. Los resultados obtenidos a partir de los cálculos estadísticos y del análisis de las concentraciones, permiten concluir que la distribución en los sedimentos expresa la distribución propia de una mineralogía muy establecida en la roca fuente.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo socioeconómico del país y el avance geocientífico para el análisis de elementos traza y tierras raras, implica un mayor estudio basado en los patrones de distribución geoquímica, con el fin de comprender la relación con los minerales que forman rocas metamórficas, sedimentarias, ígneas, yacimientos polimetálicos y su migración inicial en el manto. En este estudio se presentan nuevos datos sobre dispersión geoquímica secundaria durante la erosión de las principales unidades litológicas, pues la amplia gama de procesos actuantes en este sistema brinda una inmensa variedad de condicionamientos y fenómenos distintos en un marco geológico amplio y bien caracterizado.

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona central del territorio peruano, entre los paralelos 9° y 10° Latitud Sur, comprendiendo políticamente el sector oriental de la región Ancash y el occidental de Huánuco (Fig. 1), con una extensión aproximada de 8805 Km<sup>2</sup>.

Geológicamente destaca el Complejo del Marañón del Neoproterozoico; las formaciones Chicama, Oyón, Chúlec, Pariatambo, Jumasha, Crisnejas, Celendín, Chota y Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo y las rocas ígneas del Paleozoico (Plutón Pampa Hermosa) y Neógeno (Batolito de la Cordillera Blanca).

El estudio de geoquímica regional ha implicado la recolección de 597 muestras de sedimento pretamizado a 30 y analizado finalmente a malla 200. Solamente se han considerado 584 muestras, dado que 13 no cumplen con los requisitos para ser tratadas estadísticamente (una adecuada consideración de los datos requiere de una buena homogeneidad de los mismos). De un total de 53 elementos analizados, 22 presentan las mejores correlaciones, como es el caso de las tierras raras: Ce, La, Lu,



Fig. 1. Ubicación del área de estudio

Tb, Y, Yb y los elementos traza: Ag, Cu, Pb, Zn, Cr, Ga, As, Sb, Mo, Th, U, V, Ni, Co, Cd, Sc. Mediante el análisis estadístico, se ha obtenido 86 anomalías geoquímicas relacionadas a dos tipos de procedencia: la mineralización polimetálica, asociada con Cu, Zn, Ag, Pb, Sb, As, Cd, Mo y la distribución geogénica, asociada con U, Co, Cr, Ni, V, Ga, Th, Sc, Ce, La, Lu, Tb, Y, Yb. Esta discriminación se fundamenta en la interpretación de las distribuciones litocronológicas, asociaciones geoquímicas y el factor de enriquecimiento.

Aplicando la estadística univariada a través de los gráficos estadísticos box plot, así como la aplicación de la estadística bivariada (correlación paramétrica de Pearson) y multivariada (Análisis de Componentes Principales) se logra caracterizar las distribuciones geoquímicas en los distintos ambientes geológicos.

## ASPECTOS ECONÓMICOS

En el área se reconocen tres franjas metalogénicas, donde se encuentran hospedadas ocurrencias de minerales del tipo estratoligado, pórfidos, vetas y skarn, asociados a las formaciones Chicama, Chimú, Santa, Jumasha y rocas ígneas del batolito de la Cordillera Blanca con mineralización económica de Pb, Zn, Cu, Ag, Sb, etc.

La mayoría de depósitos minerales corresponden al Neógeno, emplazados en rocas sedimentarias del Jurásico Superior y Cretácico con varias pulsaciones magmáticas mineralizantes y superposición de alteraciones que son similares a lo ocurrido en los Andes del Norte del Perú. Entre los principales yacimientos que son parte de nuestras interpretaciones tenemos: Jacabamba, Tambillos, Antamina, Contonga, distrito minero de Huallanca, distrito minero de Pachapaqui y Huanzála, que tienen como elementos principales a Cu, Ag, Pb, Zn, Mo, Sn.

Por otra parte hemos de manifestar que en el Perú hasta el momento, las prospecciones de tierras raras no han alcanzado un despegue ordenado, por lo tanto resulta un poco difícil hablar de la localización de depósitos con este tipo de recurso. Sin embargo en el lado este de la Cordillera Oriental donde se emplazan unidades metamórficas (Complejo del Marañón), los afluentes del río Marañón constituyen área potenciales que justificarían una prospección de tierras raras, las que pueden estar relacionadas con los yacimientos polimetálicos de este sector, pues en Huánuco se han detectado monacita, xenotima, epidota y minerales radioactivos con valores que sobrepasan los 17 000 ppm en arenas auríferas de las terrazas de los afluentes del río Pachitea (Aranda A. et al. 1985).

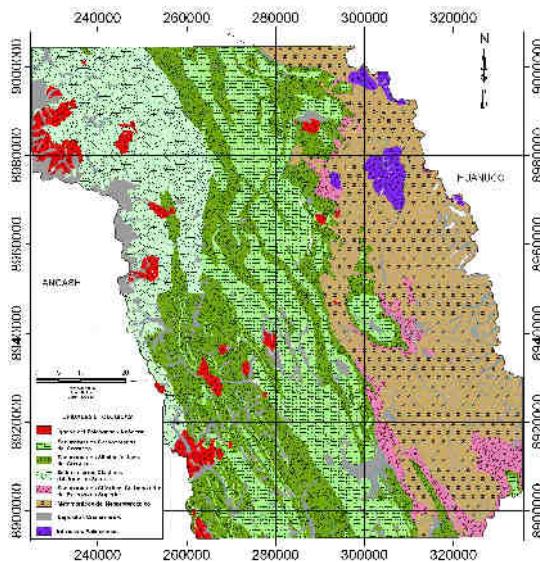


Fig. 2. Mapa de unidades litológicas, destacando las cinco unidades consideradas en la investigación.

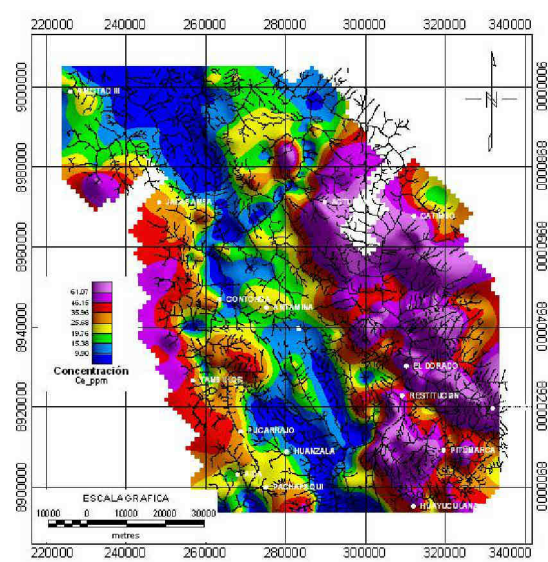


Fig. 3. Mapa de distribución del Cerio, nótese los valores altos en el ambiente metamórfico.

## PROCESAMIENTO ESTADISTICO

La información fue procesada utilizando el software estadístico SPSS V.15 para la creación de los gráficos estadísticos, cálculo de los parámetros geoquímicos y el análisis multivariado de Componentes Principales, siendo necesario la normalización de las poblaciones a través de la conversión del logaritmo natural. Para la elaboración de los mapas de dispersión se utilizó el software Geosoft módulo Chimera empleando para ello, el método de interpolación de mínimo curvatura, así mismo el sistema de información geográfica para la digitalización de las anomalías.

Las muestras han sido agrupadas en cinco poblaciones estadísticas considerando la litología y edad de la fuente de provisión. Estas han sido denominadas como: metamórficos del Neoproterozoico, sedimentarios clásticos del Jurásico Superior, sedimentarios clásticos del Cretáceo, sedimentarios carbonatados del Cretáceo e ígneos del Paleógeno-Neógeno (Fig. 2).

A partir de los gráficos Box Plot analizamos la distribución litocronológica, los elementos en los distintos ambientes, según la concentración, edad y distancia (Kurzl H., 1988). Para mostrar gráficamente el enriquecimiento de los elementos tratados en los diferentes ambientes geológicos, se proyectan sus abundancias en un diagrama binario poniendo en las abscisas los elementos y en las ordenadas sus abundancias. En tal caso, se toma el valor de fondo (*background*) de cada elemento  $x$  y se divide con la concentración de dicho elemento en la corteza continental (Rodríguez G, et al. 2001). El análisis de componentes principales permite diferenciar cuatro asociaciones principales con similares grupos de elementos (Tabla 1).

Tabla 1. Asociaciones Geoquímicas

POBLACIÓN	PC1	Var. Exp. %	PC2	Var. Exp. %	PC3	Var. Exp. %	PC4	Var. Exp. %
Metamórficos del Neoproterozoico	Sc-Ga-V-Ni-Co-Cr-Cu (+)	36	Tb-Y-Yb-Lu-U (+)	19	Ce-La-Th (+)	13	Ag-Pb-Zn-Mo-Cd (+)	8
Sedimentarios clásticos del Jurásico Superior	Tb-Y-Yb-Lu-U (+) Cu-Mo-Co (+)	54	Ag-Pb-As-Sb (+)	12	Zn-Cd (+) V-Cr-Ni-Ga (+)	9	Ce-La-Th (+) Ce-La-Th-Sc (-)	6
Sedimentarios silicoclásticos del Cretáceo	Ce-La-Th, Tb-Y-Yb-Lu-U (+) Ga-Cr (+)	37	Ag-Pb-Zn-Cu-As-Sb-Cd (+)	28	Sc-Ni-Co (+)	8	V-Mo (+)	6
Sedimentarios carbonatados del Cretáceo	Ce-La-Tb-Y-Yb-Lu-Th-Ga (+)	39	U-V-Ni-Mo-Sb-Cd (+)	18	Cu-Zn-Ag-Pb (+)	10	Sc-Co (+)	8
Ígneos del Paleógeno - Neógeno	Tb-Y-Yb-Lu (+)	29	Ag-Pb-As-Sb (+)	24	Zn-Cd (+) Ni-Co (+) Zn-Cd, Ni-Co, Th (-)	13	Ce-La (+) Cu-Mo (+)	10

## RESULTADOS

Cada corriente o río que conforma una cuenca puede constituir un escenario diferente de transporte de materiales en función a las rocas que atraviesa y degrada. Esto permite diferenciar el papel que juega cada una de ellas en la dispersión de los metales en los sedimentos; por ello, los sitios de muestreados fueron agrupados de acuerdo al ambiente geológico.

### a. Metamórficos del Neoproterozoico

Representados por el Complejo del Maraón, cuyos litotipos característicos son los esquistos verdes. Estos ambientes presentan los valores medios mas altos en Ce, La, Tb, Y, Yb, Lu, Sc, Th, Co, V, Ga, Cr, Ni y Cu (Figs. 4 y 5).

La asociación principal Sc-Ga-V-Ni-Co-Cr-Cu, nos determina la presencia de algunos minerales metálicos de cobre en los esquistos y gneis en contacto con los intrusivos, compuesto en su mayoría por minerales máficos. Como segundo grupo se tiene la asociación de las tierras raras pesadas Tb-Y-Yb-Lu incluyendo U y como tercer grupo a las tierras raras livianas Ce-La que incluyen a Th, que corresponde a un enriquecimiento de granates, principales portadores de tierras raras pesadas que cuando son alterados se fraccionan produciendo concentración de tierras raras livianas (Fig. 3). Finalmente la asociación Ag-Pb-Zn-Mo-Cd corresponde directamente a yacimientos metamorfogénicos polimetálicos en esquistos y filitas.

**b. Sedimentarios clásticos del Jurásico Superior**

Los litotipos principales que caracterizan esta población son las areniscas grises de la Fm. Chicama. En este ambiente se presentan los valores de fondo más bajos de Ce, La, Tb, Y, Yb, Lu, Th, V, Ga, Cr, Ni, Mo y U (Fig. 4 y 5).

Se tiene como asociación principal a Tb-Y-Yb-Lu con U, relacionada a los sedimentos cuarzosos y Cu-Mo-Co, relacionada a cuerpos magmáticos del Neógeno, generalmente pórfidos ricos en Mo. La segunda asociación determina los metales base Ag-Pb-As-Sb, mientras que la tercera agrupa Zn-Cd con V-Cr-Ni-Ga. Finalmente, la asociación Ce-La se relaciona directamente con Th e inversamente con Sc, manifestando elementos remanentes de la fase intrusiva.

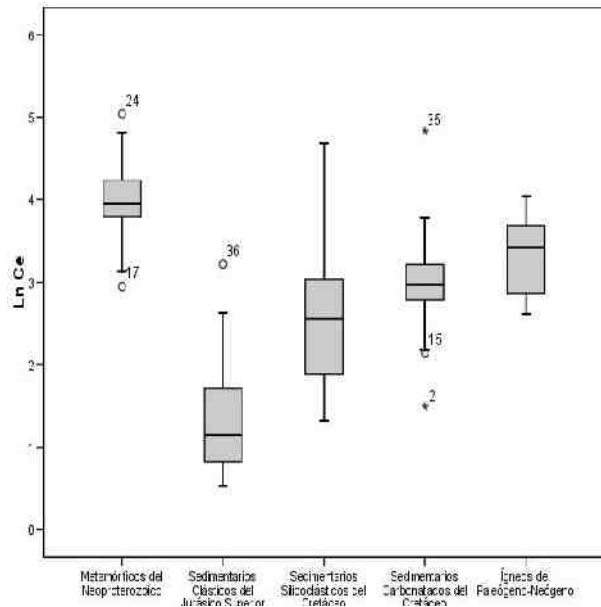


Fig. 4. Distribución litocronológica de Ce

**c. Sedimentarios silicoclásticos del Cretáceo**

Predominan las unidades clásticas del Gpo. Goyllarisquiza, Fm. Oyón del Cretáceo Inferior y Fms. Chota y Casapalca del Cretáceo superior. En este ambiente se aprecia que los valores de fondo de Ce, La, Tb, Y, Yb, Lu, Th, V, Ga, Cr, Sc, Mo, Ni, U son mayores en relación a los sedimentarios jurásicos (Fig. 4 y 5).

Ocurre la asociación principal Ce-La-Th, Tb-Y-Yb-Lu-U-Ga-Cr, caso contrario se da en el segundo grupo que determina a Ag-Pb-As-Sb con adición de Cu-Zn-Cd, definiendo un ambiente favorable para la mineralización polimetálica. Dentro del tercer grupo destaca la asociación de Sc-Ni-Co, procedentes de la fuente silicatada que conforman los minerales. Al igual que la segunda componente de los sedimentos carbonatados existe una asociación peculiar de V-Mo con U-Ni, considerados elementos remanentes de fuentes mineralizadoras hidrotermales.

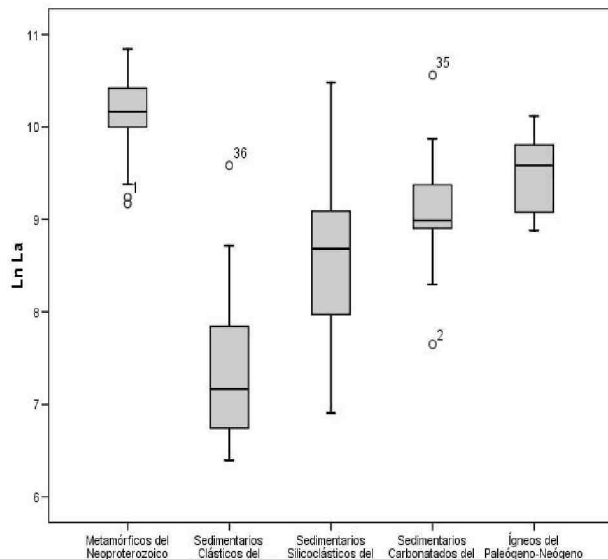


Fig. 5. Distribución litocronológica de La

**d. Sedimentarios carbonatados del Cretáceo**

Esta población está constituida por las Fms. Santa, Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo y Crisnejas del Cretáceo Inferior y las Fms. Jumasha y

Celendín del Cretáceo Superior, identificada por la gran cantidad de litotipos provenientes de calizas. Estos ambientes tienen los segundos valores medios más altos de Y, Yb, Lu, Cr, Ni. Al igual que el ambiente anterior, se tiene la asociación principal de Ce-La-Tb-Y-Yb-Lu-Th-Ga; sin embargo una característica diferenciable se da en el segundo componente que asocia a U-V-Ni-Mo-Sb-Cd, relacionado a procesos de reemplazamiento o skarnización, donde el U-V-Ni-Mo reflejaría la influencia de los cuerpos intrusivos y Sb-Cd de las rocas alteradas.

Por otra parte, la asociación Cu-Zn-Ag-Pb se relaciona a grandes yacimientos tipo skarn como Antamina y Contonga, donde el grupo de la cuarta componente entre el Co y Sc resalta los halos distales de este tipo de yacimientos.

### e. Ígneos del Paleógeno - Neógeno

Involucra las rocas ígneas, destacando el Gpo. Calipuy del Eoceno-Mioceno y Batolito de la Cordillera Blanca del Mioceno, así como algunos stocks dacíticos, andesíticos y monzoníticos de la misma edad. Estos ambientes tienen los valores medios más altos de Ag, Pb, Zn, Sb, As, Cd, Mo, U (Fig. 6, caso de Ag). Al igual que los ambientes sedimentarios clásticos del Jurásico, destaca dentro de los dos primeros componentes la asociación Tb-Y-Yb-Lu y Ag-Pb-As-Sb; en cambio, como tercer componente tenemos Zn-Cd, Ni-Co, que se asocian inversamente con el Th. Finalmente, la asociación característica de Cu-Mo y Ce-La, asume niveles porfiríticos provenientes de intrusivos ácidos.

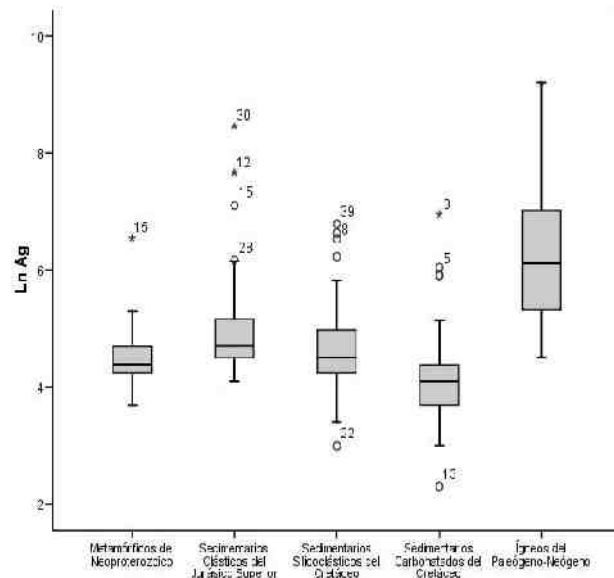


Fig. 6. Distribución litocronológica de Ag

## DISCUSIÓN

El factor de enriquecimiento, la distribución litocronológica, asociaciones y anomalías geoquímicas demuestran que el Zn, Ag, Pb, Sb, As, Cd, Mo, están fuertemente enriquecidos en los distintos ambientes geológicos (Fig. 7), teniendo una relación directa con la diversidad de yacimientos polimetálicos que poseen como fuente mineralizadora las intrusiones miocénicas (Batolito de la Cordillera Blanca), pues los sedimentos provenientes de este tipo de rocas presentan los mayores valores. Según Bissig T. et al. (2005) la mineralización polimetálica en el Perú central tuvo lugar durante el Mioceno Medio a Tardío, después del engrosamiento de la corteza y durante el cese del arco magmático.

Una característica distintiva se presenta en el Cu el cual sólo está enriquecido en los sedimentos provenientes de ambientes metamórficos e ígneos. Por otro lado los elementos U, Co, Cr, Ni, V, Ga, Th, Sc, Ce, La, Lu, Tb, Y, Yb se encuentran dentro de los rangos normales con los mayores valores dentro del ambiente metamórfico, atribuyendo estos resultados a un control litogénico (minerales primarios) y una influencia del material original. Sin embargo el U está regularmente enriquecido dentro de la población ígnea y el Co dentro de secuencias metamórficas. En el primer caso por la correlación con el Mo y en el segundo por la gran cantidad de intrusiones básicas.

Por otra parte la acumulación y composición del sedimento enriquecidos en tierras raras, producto de la erosión dependen de la composición mineralógica y química de las rocas primarias, así como en las condiciones fisicoquímicas del ambiente del desgaste. Las tierras raras son consideradas entre las menas solubles de los elementos traza y son consideradas relativamente inmóviles en bajos grados de metamorfismo, meteorización y alteración hidrotermal (Aranibar L, 2006), confirmando nuestras interpretaciones que muestran que las tierras raras se dispersan a baja movilidad.

En cuanto a las elevadas concentraciones en los ambientes metamórficos, se debe a su transporte y acumulación en las fracciones arcillosas del sedimento y en granates que son muy comunes en estos ambientes.

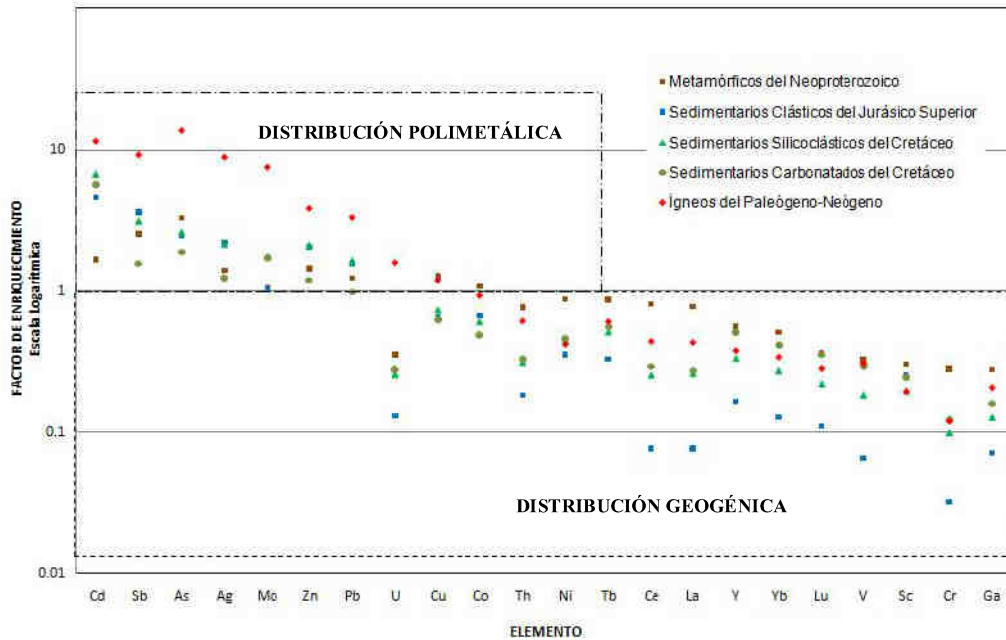


Fig. 7. Factor de enriquecimiento normalizado con la Corteza Continental

## CONCLUSIONES

El Cu, Zn, Ag, Pb, Sb, As, Cd, Mo muestran fuerte distribución en todos los ambientes geológicos, relacionados a yacimientos polimetálicos, producto de los eventos magmáticos del Neógeno y del Hercínico, en tanto que el U, Co, Cr, Ni, V, Ga, Th, Sc, Ce, La, Lu, Tb, Y, Yb, presenta una distribución geogénica (procedencia petrogénica), especialmente en ambientes metamórficos que corresponden al Complejo del Marañón donde presentan las mayores concentraciones, haciendo un blanco de exploración aceptable.

Los resultados obtenidos nos permiten confirmar que la distribución en los sedimentos expresa la distribución propia de una mineralogía muy establecida en la roca fuente.

El tratamiento estadístico por separación de poblaciones nos ayuda en el cartografiado regional, sobre todo en lugares donde la roca base este poco expuesta o tiene características similares de formaciones adyacentes, suprayacentes e infrayacentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranda A. & Jungbluth A. 1985. Concentración Mineralógica de tierras raras en Placeres auríferos, Departamento de Huánuco – Perú, III Simposium Nacional de Ingeniería Metalúrgica, Editorial Impulso, Tomo 1, Lima, p. 17 – 40.
- Aranibar L. 2006. Distribución de los elementos traza y las REE asociados al pórfido de Pashpap – Ancash, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, p. 175.
- Bissig T.; Tosdal M.; Ullrich T.; Friedman R. & Weis D., 2006. Evolución Petroquímica de las intrusiones Eoceno-Miocénicas de la Cordillera Occidental y áreas al Este del Perú Central implicancias Metalogenéticas, XIII Congreso Peruano de Geología, Resúmenes Extendidos, Sociedad Geológica del Perú, Lima, p. 704 – 707.
- Kurz H., 1988. Exploratory data analysis: recent advances for the interpretation of geochemical data, Journal of Geochemical Exploration, n° 30, Netherlands, p 309-322.
- Rodríguez G.; Azevedo F.; Colin B., 2001. Mineralizaciones auríferas en sedimentitas ordovícicas de la sierra de Rinconada (Jujuy-Argentina): implicancias para la exploración minera, Revista geológica de Chile, vol.28, n.1, Santiago, p. 26.