

## **EL USO DE LA GEOQUÍMICA REGIONAL PARA CARACTERIZAR PROVINCIAS METALOGENÉTICAS “UNA VISIÓN PARA LA EXPLORACIÓN”**

Raymond Rivera y Neper Condori

INGEMMET. Email: rrivera@ingemmet.gob.pe; ncondori@ingemmet.gob.pe

### **INTRODUCCIÓN**

Esta investigación se desarrolla dentro del programa de geoquímica regional que viene desarrollando INGEMMET desde el año 1999 hasta la actualidad. Este proyecto tiene como base la recolección de muestras de sedimentos de quebradas con una densidad de 1 muestra cada 10 kilómetros cuadrados. Dicha técnica es actualmente reconocida en muchas partes del mundo como una excelente herramienta para la exploración de depósitos minerales, donde el objetivo es encontrar áreas geoquímicamente anómalas de posible interés económico. En esta investigación utilizaremos la información de INGEMMET con el propósito de identificar variaciones regionales en el background y asociarlo con provincias metalogenéticas, la cual será corroborada con la ubicación de las ocurrencias minerales y la geoquímica de rocas utilizando una clasificación catiónica. Un trabajo similar fue desarrollado en Zambia (centro de África) en alrededor de 80 000 millas cuadradas con una densidad de muestreo de 1 muestra por 75 millas cuadradas (Armour – Brown & Nichol, 1970).

Los resultados del presente estudio nos permiten confirmar la aplicabilidad de un muestreo de drenaje regional como un método para identificar provincias metalogenéticas.

### **MÉTODOS ANALÍTICOS**

Actualmente el total de muestras recolectadas en las franjas 1, 2, 3 y 4 suman más de 8225 muestras de sedimentos de quebradas. Los análisis de Au y Hg fueron realizados en los laboratorios de INGEMMET, por medio del método de Ensayo al Fuego con Absorción atómica para el Au y Vapor al Frío para el Hg. Por otro lado en los laboratorios de SGS se realizó el análisis por 31 elementos, utilizando el método de ICP con digestión de agua regia. De esta manera se tiene para las franjas 1, 2 y 3 todo un grupo de elementos (33) tales como: Au, Hg, Al, Sb, As, Be, Bi, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, La, Pb, Mg, Mn, Mo, Ni, P, K, Sc, Ag, Na, Sr, Sn, Ti, W, V, Y, Zn, Zr y Tl.

Otros datos reinterpretados dentro de esta investigación fueron los obtenidos mediante un programa de geoquímica regional de baja densidad realizado en el norte del Perú por parte del British Geological Service entre los años 1967 – 1961. Este trabajo geoquímico cuenta con un total de 1260 muestras de sedimentos de quebradas, las cuales fueron analizadas por 6 elementos: Cu, Pb, Zn, Ag, Mo y As mediante el método de absorción atómica. La importancia de esta última información se debe a que estos trabajos de prospección geoquímica se realizaron antes del descubrimiento de las grandes minas y proyectos que actualmente conocemos. Lo que indica que estos datos están libres de eventual contaminación minera y las anomalías detectadas son estrictamente naturales.

### **PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para el procesamiento de la información se utilizó el Software Geosoft módulo Chimera 5.1, el cual permitió interpolar todas las muestras geoquímicas, utilizando el método de la mínima curvatura con el efecto de sombra. Estos mismos mapas fueron superpuestos y ploteados en 3D para una mejor visualización de las asociaciones de elementos. Estas asociaciones de elementos fueron corroboradas mediante los análisis geoquímicos de rocas, los cuales fueron ploteados utilizando los diagramas de clasificación catiónica de elementos (Debon & Le Fort, 1988). Estos diagramas se basan en los cálculos catiónicos de los elementos mayores y nos permiten hacer una correlación química – mineralógica, permitiéndonos observar los cambios mineralógicos de las diferentes asociaciones magmáticas y por consiguiente inferir su potencial. Finalmente, los resultados de todos estos procesamientos de información fueron corroborados con la existencia de

ocurrencias minerales que confirman la viabilidad de la investigación. Todas estas correlaciones geológicas permitieron establecer provincias metalogenéticas relacionadas a rocas magmáticas como se describen a continuación:

**La Franja de Cu – Au y Mo del norte del Perú.-** Esta provincia metalogenética generalmente se encuentra asociada a los afloramientos del Grupo Calipuy y stocks miocénicos. Geoquímicamente de origen calcoalcalino con medio contenido de potasio ha demostrado tener una fuerte asociación de Cu - Au y Mo (Figura. N°3). La clasificación catiónica indica que estas rocas magmáticas caen dentro del dominio metaluminoso (grupo IV) (Figura. N°4), siendo clasificado como un magmatismo tipo I (origen ígneo), con moderada a débil contaminación cortical (Figura. N°3). Las anomalías geoquímicas de *stream sediments* de As y Cu se ven respaldadas por la presencia de muchos prospectos, proyectos y minas del tipo epitermal y pórfidos que se proyectan desde la región de Cajamarca hasta la frontera con Ecuador (Figura. N°2). Actualmente las anomalías geoquímicas de *stream sediments* se correlacionan con la zona norte de la Franja XXI “Epitermales de Au-Ag del Mioceno hospedado en rocas volcánicas Cenozoicas” (Acosta et al., 2009).

**El Batolito de la Cordillera Blanca.-** Esta provincia metalogenética se encuentra asociada a un enorme cuerpo batolítico de origen calcoalcalino altamente diferenciado que ha demostrado mediante trabajos de *stream sediments* asociaciones geoquímicas muy singulares de W, Mo y U (Figura. N°1). La clasificación catiónica indica que esta provincia metalogenética cae dentro del dominio metaluminoso (Grupo IV) con cierto sesgo al dominio peraluminoso (Grupo III) coincidiendo con el campo catiónico de los intrusivos Permo – Triásicos (Batolito Carabaya – Vilcabamba y San Ramón) (Figura. N°4). Estas características metalogenéticas han sido corroboradas con la presencia de algunas minas y prospectos tales como: Pasto Bueno (W), Jacobamba (Mo) y numerosas anomalías de uranio. Geoquímicamente ha sido clasificado como un magmatismo tipo I (origen ígneo) con cierto sesgo al magmatismo tipo S (origen sedimentario) (Figura. N°3). Las anomalías geoquímicas de *stream sediments* permitieron definir esta franja como la Franja XXII “Depósitos de W-Mo-Cu relacionado con intrusivos del Mioceno superior” (Acosta et al., 2009).

**Los stocks de la Cordillera Negra.-** Estas rocas intrusivas se encuentran cortando el Grupo Calipuy en la parte central del Perú y dan origen a una franja metalogenética conocida como la Franja XXI (Acosta et al., 2009). Los mapas isovalóricos de *stream sediments* muestran anomalías de Cu - Au y Mo con una distribución muy irregular a lo largo de la parte más alta de la Cordillera Negra, lo cual ha sido corroborado por los diagramas discriminantes de granitos (Figura. N°3). Geoquímicamente estas rocas intrusivas pertenecen a un magmatismo tipo I (Figura. N°3) y son de origen calcoalcalino con medio a alto contenido de potasio. Los gráficos catiónicos demuestran que estas rocas se encuentran dentro del dominio metaluminoso (Grupo IV) y se superpone con el campo catiónico de los stocks miocénicos del norte del Perú y las facies menos diferenciadas de las rocas intrusivas de la Cordillera Blanca (Figura. N°4). Estas interpretaciones han sido corroboradas por la presencia de muchos depósitos minerales tales como: Pierina (Au), San Luis (Au), Magistral (Cu-Mo), Pashpap (Cu-Mo), entre otros.

**El Batolito Andahuaylas – Yauri.-** Esta provincia metalogenética pertenece a un enorme cuerpo batolítico (Eoceno – Oligoceno) de origen calcoalcalino con medio a alto contenido de potasio.

Los mapas isovalóricos de *stream sediments* muestran claramente esta zona como una provincia petrogénica totalmente diferente a las anteriores. Por los altos valores en Sr, Ca y Na se puede inferir para este batolito un origen ígneo profundo (tipo I) lo cual es corroborado por el diagrama discriminante de granitos que le asume un fuerte potencial en Au, Cu y Mo (Figura. N°3). Los mapas isovalóricos muestran también algunas anomalías en Al, lo cual estaría ligado a las facies más diferenciadas de este batolito. La clasificación catiónica indica que este batolito tiene un dominio metaluminoso (grupo IV – V), existiendo algunas facies peraluminosas (grupo II) de posible origen por contaminación cortical (Figura. N°4). Sus facies metaluminosas son las menos diferenciadas con respecto a las tres provincias metalogenéticas anteriores. Actualmente este batolito se encuentra incluido dentro de la Franja XV “Pórfidos – Skarn de Cu – Mo (Au-Zn) y depósitos de Au-Cu-Fe relacionado a intrusivos del Eoceno – Oligoceno” (Acosta, et al., 2009) y su potencial es confirmado por la presencia de muchos prospectos, proyectos y minas tales como: El cluster de Morosayhuas (pórfidos de Cu – Mo), El cluster de Cotabambas (Pórfidos de Au - Cu), Tintaya, Las Bambas, entre los principales.

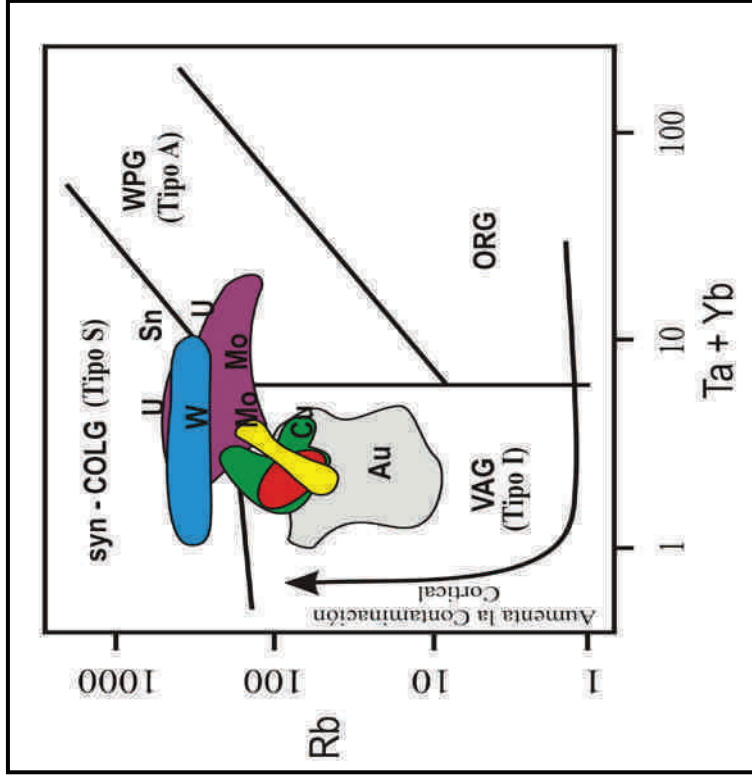
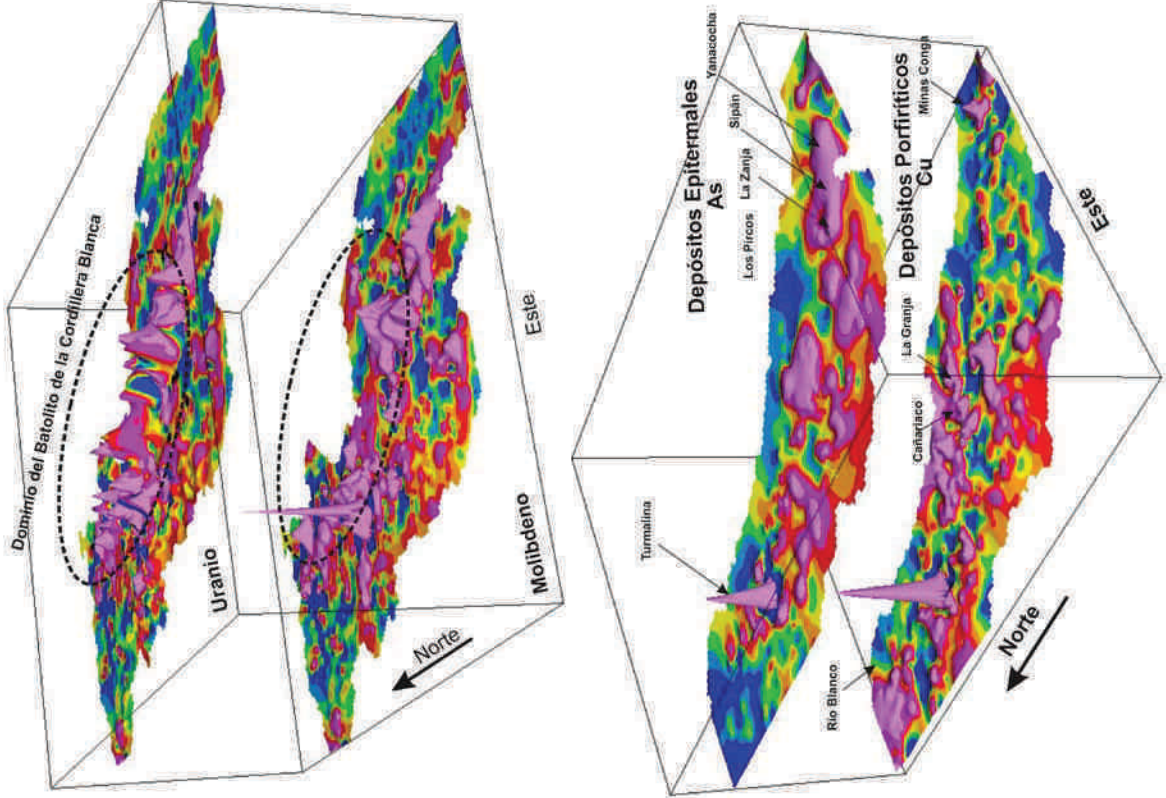


Figura 3. Diagrama discriminante de granitos (Pearce, 1996), mostrando el dominio geotectónico de las diferentes provincias metalogénicas. (leyenda en Figura. N°4)



Figuras 1 y 2. Mapas isovalóricos en 3D para muestras de stream sediments. Mostrando el dominio metalogénico de la Cordillera Blanca y los stocks Miocénicos del norte del Perú

**El Batolito de Carabaya – Vilcabamba – San Ramón.-** Estas rocas intrusivas tienen un origen totalmente diferente al de las provincias metalogénicas mencionadas anteriormente y por consiguiente su potencial geológico es distinto. La geoquímica de sedimentos muestra claramente a toda esta franja de rocas intrusivas ubicada en la Cordillera Oriental como una provincia petrogenética totalmente particular. Los altos valores de La, Al y K indican una asociación mineralógica muy parecida a la de los granitos tipo S (origen sedimentario) lo cual es corroborado por el diagrama discriminante de granitos (Figura N°3). La clasificación catiónica coincide con las interpretaciones de los sedimentos de quebradas estableciendo un moderado a fuerte dominio peraluminoso. El principal exponente del dominio peraluminoso en esta zona son las rocas volcánicas de la Formación Quenamari que alberga al principal depósito de uranio en el Perú (Macusani). Si bien es cierto el dominio peraluminoso del Batolito de Carabaya – Vilcabamba – San Ramón (Grupo III, II ± I)(Figura N°4) no es cien por ciento parecido a las rocas volcánicas de la Fm Quenamari (Grupo I), sin embargo estas actualmente muestran muchas anomalías de uranio y son motivo de exploración en U, W y Mo. Actualmente esta zona se encuentra incluida dentro de dos franjas: la Franja I “Depósitos de Au en rocas metasedimentarias del Ordovícico y Silúrico – Devónico” y la Franja XIX “depósitos de Sn, Cu y W relacionado con intrusivos del Oligoceno – Mioceno y epitermales de Ag, Pb, Zn (Au)” (Acosta et al., 2009).

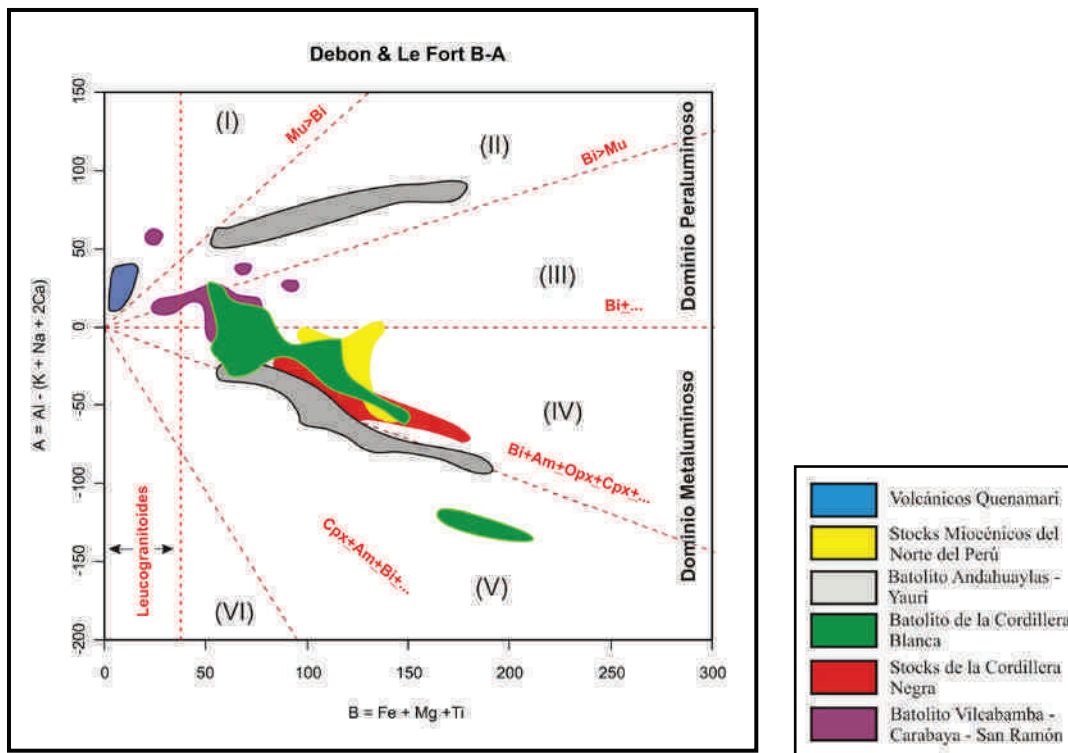


Figura 4. Grupos en el diagrama de clasificación catiónica

## REFERENCIAS

- Acosta, Jorge; Rivera, Raymond; Valencia, Michael; Chirif, Humberto; Huanacuni, Dina; Rodríguez, Italo; Villarreal, Eder; Paico, Deysi; Santisteban Alex; Neyra Angel (2009). Mapa Metalogénico del Perú, escala 1: 3'000,000, Ed. INGEMMET.
- Armour-Brown, A. & Nichol, I. (1970) Regional Geochemical Reconnaissance and the location of metallogenic provinces. *Economic Geology* vol. 65, n°3, pag. 312 – 330.
- Debon, Francois & Le Fort, Patrick (1988) A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic association: principles, method, applications. *Bulletin Mineral* n° 11, pag. 493 – 510.
- Pearce, J. (1996) Source and setting of granitic rock. *Episodes* vol 19, n° 4, pag. 120 – 125.