

# **LITOGEOQUÍMICA APLICADA A LA EXPLORACIÓN DE YACIMIENTOS HIDROTERMALES EN EL CORREDOR ESTRUCTURAL PAÑE-LULI-YAURI: LÍMITE ALTIPLANO-CORDILLERA OCCIDENTAL DEL SUR DEL PERÚ.**

Rigoberto Aguilar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Av. De la Cultura 733, Cusco. aguilar\_rig@hotmail.com

## **INTRODUCCIÓN**

El corredor estructural Pañe-Luli-Yauri (CEPLY) se ubica en el límite Altiplano-Cordillera Occidental del Sur del Perú, en territorio comprendido entre los Departamentos de Cusco, Puno y Arequipa. Metalogénicamente forma parte de la Franja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno (Carlotto et al., 2009).

Los geólogos de exploración, intentamos casi todo el tiempo reconocer patrones en la distribución temporal y espacial de los yacimientos; por lo tanto, identificar zonas que muestren suficientes evidencias para un hallazgo exitoso. Dentro de este contexto, la geoquímica es muy importante y puede ayudarnos en la comprensión de las relaciones metalogénicas de un área.

Los grandes áreas con alteración hidrotermal, expresados en una prominente anomalía de color en imágenes satelitales han sido cartografiadas a escala regional (Aguilar et al., 2010). Aquí, describiremos el contexto litológico e hidrotermal de la parte superficial del sistema. Concomitante al mapeo, se tomaron muestras en chips de facies representativas de las diferentes unidades lito-estratigráficas por centro volcánico y zonas de alteración hidrotermal; en un total de 39 puntos. Los resultados del análisis de 09 muestras fueron tomadas de publicaciones anteriores, haciendo un total de 48 muestras para el análisis.

Las esquirlas de rocas fueron enviadas al laboratorio (Inspectorate Services Peru S.A.C.), donde fueron analizadas por los métodos ICP-AES (elementos mayores) y ICP-MS (55 elementos).

## **CONTEXTO GEOLÓGICO**

En la zona de estudio, las rocas más antiguas están representadas por potentes secuencias de conglomerados pertenecientes a la Formación Anta, estos son distinguibles por la presencia de clastos de cuarcitas, intrusivos y rocas volcánicas; además, presentan cuerpos gigantescos de calizas de la Formación Arcurquina, englobados en una matriz conglomerádica.

Sobre este substrato encontramos los potentes depósitos lávicos, piroclásticos y volcanoclásticos cartografiados a nivel regional como Grupo Tacaza, Grupo Palca y Grupo Sillapaca y a nivel local relacionados por sus centros de emisión, constituyendo así parte de la serie volcánica cenozoica en este sector del sur del Perú (Aguilar et al., 2010).

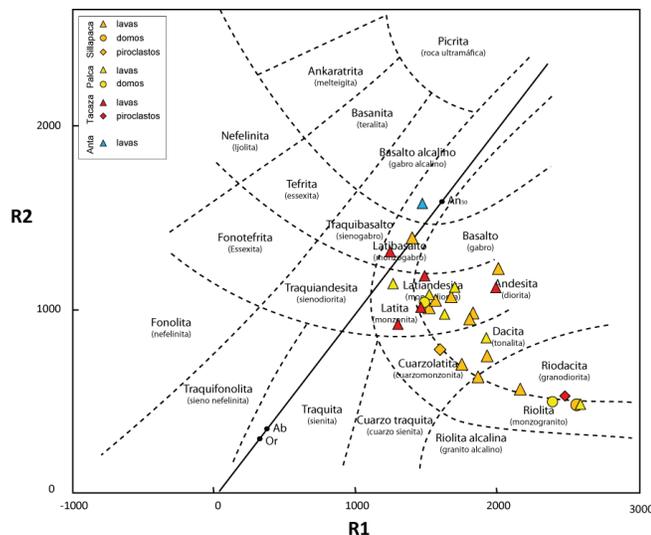
## **CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS**

En algunos casos los óxidos (wt%) no reflejan fielmente la distribución de los cationes en una muestra; entonces, se hizo el recalcu de la composición de la roca como cationes. El óxido es dividido entre su peso molecular y multiplicado por el número de cationes en la unidad de la fórmula. En el presente estudio aplicamos el diagrama de clasificación de rocas ígneas propuesto por De la Roche & Le Terrier (1973) y De la Roche et al. (1980), el cual está basado en la proporción catiónica de las mismas, expresada en milicaciones. Los resultados son ploteados usando los parámetros R1 y R2:

$$R1 = [4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)]; \quad \text{Fe representa el Fe total.}$$

$$R2 = (Al + 2Mg + 6Ca)$$

Así, al plotear nuestras muestras en el diagrama (Fig. 1), podemos apreciar que la muestra del período volcánico Anta cae en el campo del basalto alcalino, mientras que las rocas del período volcánico Tacaza son principalmente latibasaltos, latiandesitas y latitas ( $Na_2O - 2 < K_2O$ , “potásicas”); las rocas del período volcánico Palca caen en el campo de las latiandesitas, dacitas y riolitas, y las rocas del período volcánico Sillapaca son latiandesitas, cuazolatitas, riodacitas y riolitas.

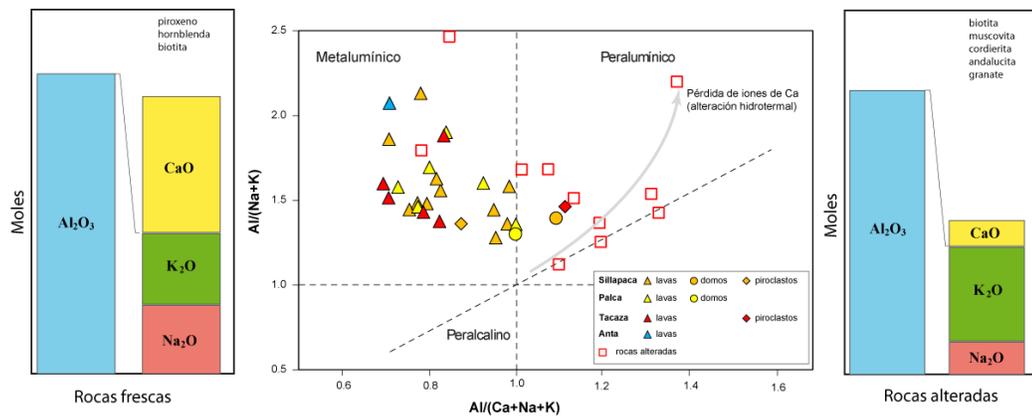


**Figura N° 1.** Clasificación de rocas volcánicas usando los parámetros R1 y R2 (Modificado de De la Roche et al. 1980 en Rollinson, 1993).

## GEOQUÍMICA DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

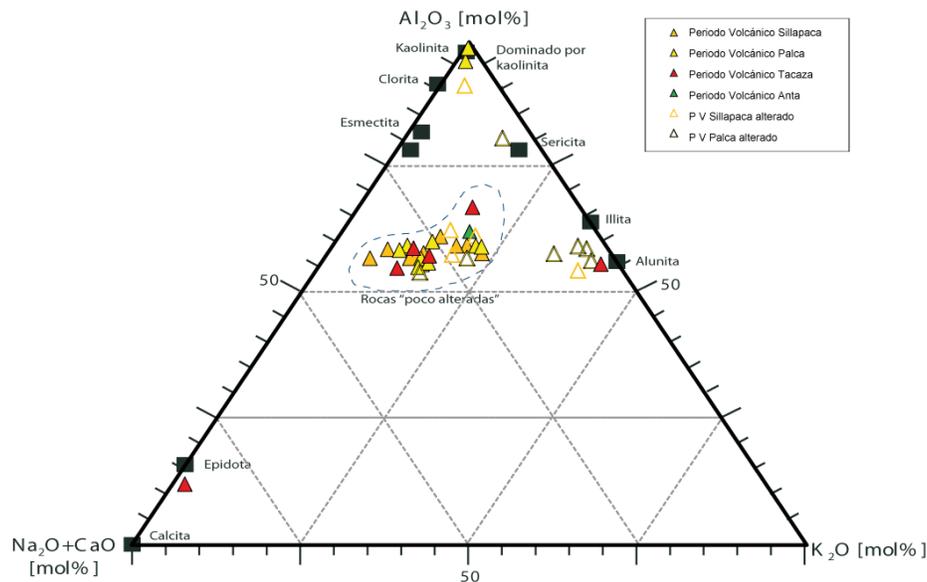
La alteración hidrotermal resulta de la interacción fluido-roca durante el cual la composición mineralógica primaria es modificada por la movilización de ciertos elementos (adición y pérdida).

El diagrama de variación  $Al/(Na+K) - Al/(Ca+Na+K)$  (Fig. 2) muestra que las rocas con alteración incipiente o “rocas frescas” caen en el campo metalumínico según el grado de saturación de alúmina, los flujos piroclásticos y domos tienden a ser peralumínicos. En las rocas alteradas, los valores de  $Al_2O_3$  disminuyen ligeramente, el  $Na_2O$  disminuye considerablemente debido a la destrucción de los feldespatos, el  $CaO$  disminuye drásticamente por la destrucción de las plagioclasas en una alteración argílica avanzada o por silicificación. Los valores del  $K_2O$  se incrementan con la alteración hidrotermal debido a que el K se comporta como un elemento inmóvil o porque podría pasar a formar minerales de alteración como la alunita.



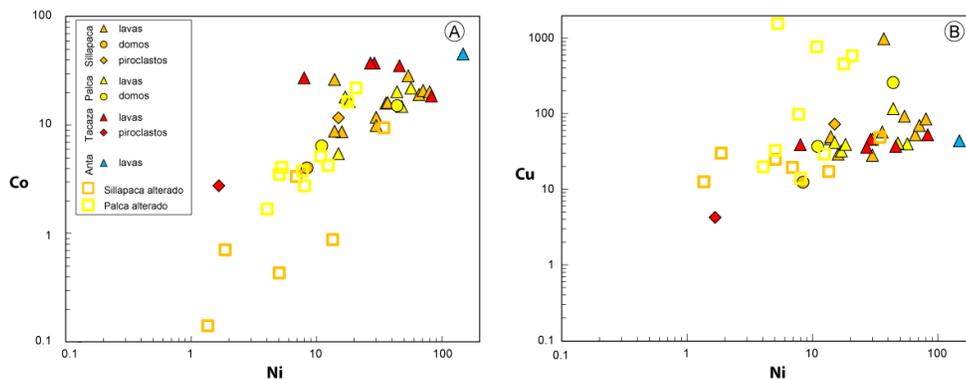
**Figura N° 2.** Diagrama para la determinación del grado de saturación de alúmina (Maniar y Piccoli, 1989) y la movilidad de los elementos de álcalis en un proceso de alteración hidrotermal.

La figura N° 3, muestra la relación de  $Al_2O_3$ ,  $(Na_2O+CaO)$  and  $K_2O$ . Las rocas frescas o poco alteradas presentan una tendencia para formar sericita. La destrucción de plagioclasa y anfíbol, y como consecuencia de ello, la disminución de  $Na_2O+CaO$  y el incremento relativo en la cantidad de  $Al_2O_3$  es apropiado para la alteración argílica con presencia de caolinita. El enriquecimiento en  $K_2O$  es favorable para la formación de alunita e illita.



**Figura N° 3.**  $Al_2O_3$ .  $(Na_2O+CaO)$ -  $K_2O$  diagrama triangular mostrando las “rocas frescas” y rocas alteradas de la zona de estudio. Los datos de referencia para los minerales de alteración fueron tomados de Hennig, 2005.

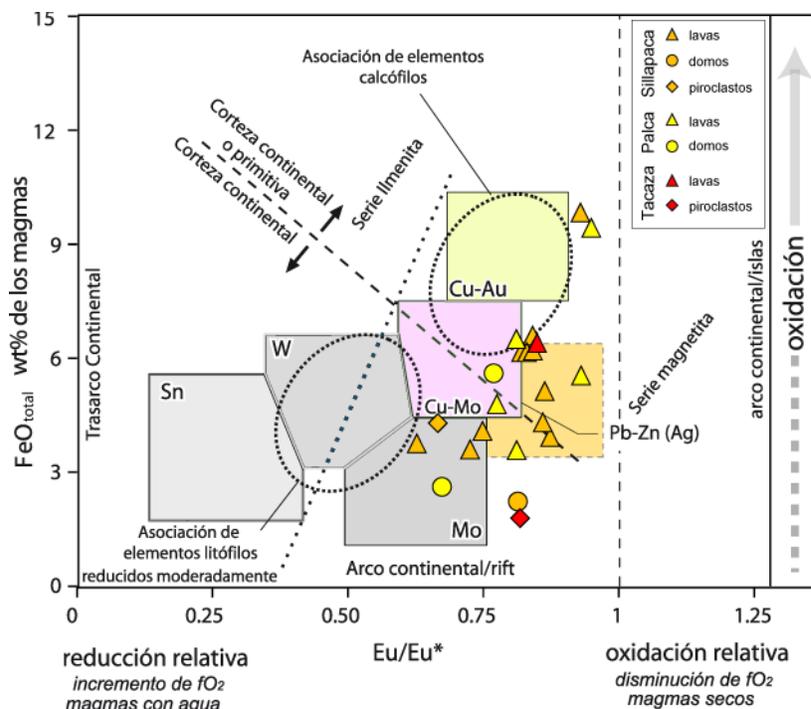
En la figura N°4, los elementos Co y Ni se correlacionan bien y se aprecia que tienen una similar solubilidad y afinidad química. En la figura 3, las rocas poco alteradas o “rocas frescas” muestran una buena correlación de Cu y Ni, lo cual nos indica su afinidad atómica. Las rocas alteradas del evento volcánico Sillapaca presentan una disminución en estos elementos, lo cual es una expresión de la alta movilidad de los metales base en fluidos ácidos; mientras que las rocas alteradas del período Palca muestra un enriquecimiento en cobre.



**Figura N°4.** Diagramas de variación A) Co-Ni mostrando la correlación de elementos, B) muestra la afinidad entre Cu y Ni.

Existen grupos distintivos de metales que se asocian de acuerdo al estado de oxidación de los magmas. Esto es el producto de la fugacidad de oxígeno durante la cristalización magmática.

La fugacidad de oxígeno puede ser también importante al determinar la composición de los fluidos asociados a rocas ígneas. Al igual que el contenido de agua comagmática, la fugacidad de oxígeno es determinada en base a los valores de las anomalías de  $Eu/Eu^*$  (Fig...). El contenido de Fe de los magmas determina el carácter oxidado o reducido (estado redox) de los fluidos magmáticos, y a la vez determinan el tipo de ensamble mineralógico al que se asocia (Au, Cu, Mo, Zn). El estado de oxidación de las rocas ígneas está basada en la abundancia de magnetita o ilmenita (Lang & Baker, 2001 en Santos, 2011), y pueden ser clasificados como reducidos (serie de la ilmenita) y oxidados (serie de la magnetita).



**Figura N°5.** Relación entre el estado de oxidación de los magmas, su contenido de  $FeO_{total}$  y a los posibles ensambles de metales asociados (modificado de Lang & Baker, 2001).