

GRANITOS DEL TIPO HHP (HIGH HEAT PRODUCING GRANITES) RELACIONADOS A SISTEMAS HIDROTERMALES Y FUENTES POTENCIALES DE ENERGÍA TÉRMICA EN EL PERÚ

Mirian Mamani

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Regional, Lima, Perú.
mmamani@ingemmet.gob.pe

RESUMEN

En el territorio peruano se tienen muchos afloramientos de granitos y rocas volcánicas félsicas bastante diferenciadas (> 63% SiO₂) del tipo HHP, estas rocas tienen diferentes edades geológicas y están relacionadas a depósitos de Sn-W y U (e.g., San Rafael, Pasto Bueno, Corani). Los afloramientos más estudiados corresponden a los granitos de la Cordillera Blanca, Cordillera de Carabaya, ignimbritas de Macusani. En base al procesamiento geoquímico de la base de datos nacional de petroquímica (>6000 muestras, GEOCATMIN), base de datos de ANDESDATA (>3000 muestras, Universidad de Göttingen) y GEOROCK (3000 muestras, Universidad de Mainz), mostró que estos granitos y rocas volcánicas félsicas corresponden a diferentes series magmáticas y que este tipo de rocas también pueden estar relacionados a altas concentraciones de Au, As, Ag, Cu, Mo y U y favorecen la circulación de fluidos hidrotermales a grandes distancias de las intrusiones. Adicionalmente, este tipo de rocas están adquiriendo más importancia como fuentes potenciales de energía térmica por su alto contenido en U-Th. La variación química de los granitos se puede explicar en la variación del protolito (roca caja) y en el porcentaje de su contribución en la contaminación de los magmas, en la variación de la composición y espesor de la columna cortical donde se emplazan; y en la composición y diferenciación del fundido magmático primario de donde derivan.

INTRODUCCIÓN

Los elementos de U (2 ppm), Th (10 ppm) y K (2.8 %) están altamente concentrados en la corteza continental superior (Rudnick, 1995). Estos elementos son altamente incompatibles y producen calor. Este calor se genera a partir de la energía producida por el decaimiento de los elementos radiactivos y es en la parte de la corteza superior de los continentes (<http://earthref.org/GERMRD/datamodel/>) que las fracciones grandes de flujos de calor pueden generar sistemas hidrotermales. El decaimiento de energía de los elementos radiactivos es una fuente efectiva de calor y en la escala del tiempo geológico el calor radiogénico proviene del decaimiento de cuatro isótopos, con una vida media de 10⁹ años. Estos isótopos son ²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th y ⁴⁰K. El potasio (K) es un elemento que produce intenso calor, está contenido principalmente en feldespatos potásicos y feldespatoides (leucita, nefelina).

Los granitos post orogénicos (granitos del tipo S), los granitos anorogénicos (granitos del tipo A), y las rocas volcánicas félsicas (>65%SiO₂) contienen apreciables cantidades de U, Th y K y por lo tanto pueden generar significativo calor en el tiempo geológico. Según Tyler (2006) un granito HHP típico contiene U (20 ppm), Th (50 ppm), K (4 %); y con esas concentraciones puede generar cerca de 10mW/m³. Basado en esa cantidad de energía McLaren et al. (1999) asumen que los granitos HHP pueden dar resultado a dos sistemas hidrotermales: 1) debido al calor advectivo causado por la intrusión; y 2) Decaimiento radiogénico de los elementos que producen calor y que están contenidos en el granito. El primero causará una anomalía termal grande alrededor del intrusivo, causando un metamorfismo termal y calentamiento de fluidos meteóricos y/o fluidos connatos hasta varios kilómetros de la intrusión. En el segundo caso los fluidos hidrotermales circularan mucho tiempo después que las intrusiones graníticas se hayan enfriado y cristalizado, esto se deberá a la alta concentración de U, Th y K, produciendo suficiente temperatura por decaimiento radiogénico y así permitir la continuación de la circulación hidrotermal durante un periodo de tiempo. Los estudios de granitos HHP en Australia (Burnside granite, McLaren et al. 1999) han determinado que después de 20 y 40 Ma que se formó el granito se continuaba teniendo hidrotermalismo e incluso se extendía hasta 10 km distante del borde de la intrusión.

En el Perú tenemos muchos intrusivos que se aproximan a estas características de los granitos del tipo HHP (Fig. 1) y en algunos casos están relacionados a sistemas hidrotermales, pero se sabe poco del resto de granitos y rocas volcánicas félsicas que contienen altas concentraciones de U, Th y K. Es por esta razón, que el presente trabajo muestra las características geoquímicas de algunos granitos y rocas volcánicas félsicas que afloran en nuestro territorio y discute en que periodo geológico se formaron principalmente este tipo de rocas y bajo que contexto geotectónico.

RESULTADOS

Para este estudio se seleccionaron espacialmente aquellas muestras cuyo contenido de SiO₂ superaba el 63% en los análisis en roca total, esta selección fue independientemente de la edad geológica y del tipo de roca (Fig. 1A). Posteriormente esa data fue clasificada temporalmente y agrupada en doce grupos (Fig. 1B). Estos grupos de muestras fueron procesadas y ploteadas en los diagramas geoquímicos (Fig. 2). Los valores de U (2 ppm) y Th (10 ppm) que superan las concentraciones normales de la corteza continental están ampliamente distribuidos en los afloramientos principales de rocas ígneas (Fig. 1C y Fig. 1D). Geoquímicamente e independientemente de la edad estos granitos tienen un amplio rango de composición, que van desde tonalitas, monzonitas, granodioritas, monzogranitos, sienogranitos, granitos alcalinos, y dacitas a riolitas (Fig. 2A). Según el Índice de Saturación de Alumina (ISA) son principalmente peraluminicas y pueden ser granitos del tipo A y granitos del tipo S (Fig. 2B).

En la relación de las concentraciones de U y Th (Fig. 2C), la mayoría de las muestras caen en el trayecto de la producción de calor cuando las concentraciones de Th y U incrementan simultáneamente; sin embargo, un grupo de muestras del Mioceno, Oligoceno y algunas del Permo-Triásico no incrementan su concentración en Th y solo se aprecia un fuerte incremento de U (>7 ppm).

En relación al estado de oxidación de los magmas y clasificación de las series ilmenita y magnetita, se usa los valores de anomalías de Eu/Eu* versus los contenidos de TiO₂ (Fig. 2D). Aquí se observa que algunos granitos del Permo-Triásico, Paleoceno y Mioceno pertenecen a la serie Ilmenita esto se debe a que la fO₂ se incrementó cuando se formaron estos magmas, y en el campo de la serie magnetita plotan todos los grupos de granitos.

Para estimar el espesor de la columna cortical donde se formaron los magmas se usa las razones de Ce/Y (Fig. 2E), donde se observa que los granitos del Carbonífero, Eoceno, Paleoceno tienen ratios Ce/Y de 1.2 a 4.2 lo que indicaría que se formaron dentro de una corteza de 50 km de espesor. Los granitos del Permo-Triásico incrementan ligeramente los ratios de Ce/Y (1.2 a 4.7) que equivale a un espesor de 58 km. El cambio brusco en los ratios de Ce/Y (1.2 a 7.5) se da en los granitos de Mioceno, Oligoceno, Plioceno y Cuaternario esto indica que la corteza donde se emplazaron estos granitos es más espesa llegando hasta 80 km.

La variación en concentración de Rb/Sr define la diferenciación de los magmas (Fig. 2F). En el diagrama de la Figura 2F se usa los ratios de Cu/Mo en roca total versus la diferenciación y la relación indica que los granitos del Mioceno, Oligoceno, Eoceno, algunos del Paleoceno, Cretácico inferior tienen alta concentración de Cu, la concentración de Cu disminuye pero la concentración de Mo se incrementa en los granitos de Jurásico, Permo-Triásico y Carbonífero y también en los granitos del Paleoceno. Finalmente, cuando los ratios de Cu/Mo (<1) son bajos ocurren W y Sn, esto relacionado con las muestras del Permo-Triásico y principalmente con las del Mioceno.

VARIACIONES GEOQUÍMICAS DE LOS GRANITOS

Geológicamente los afloramientos de los granitos más conocidos (e.g., Granitos de Pataz, Granitos de Amotapes, Granitos de la Cordillera Blanca, Granitos de Carabaya, Granitos de Vilcabamba, Granitos Punta Coles, Granitos Mollendo, etc.) están siempre cerca a rocas del basamento Paleozoico y Proterozoico, o se emplazan dentro de granitos ya formados anteriormente (superposición de granitos, e.g., Granitos del Batolito de la Costa). Las variaciones geoquímicas (composición peralcalina) de estos granitos se pueden asociar a las variaciones en las rocas huéspedes y al porcentaje de contribución en la contaminación de los magmas de donde derivan los granitos. Los elementos metálicos que son expulsados de la cristalización de los magmas graníticos vía los fluidos hidrotermales derivan de la fusión

de las rocas huéspedes y se precipitan a varios niveles dependiendo de la temperatura, pH, el potencial del redox, composición de la roca caja, etc. (Chen & Grapes, 2007).

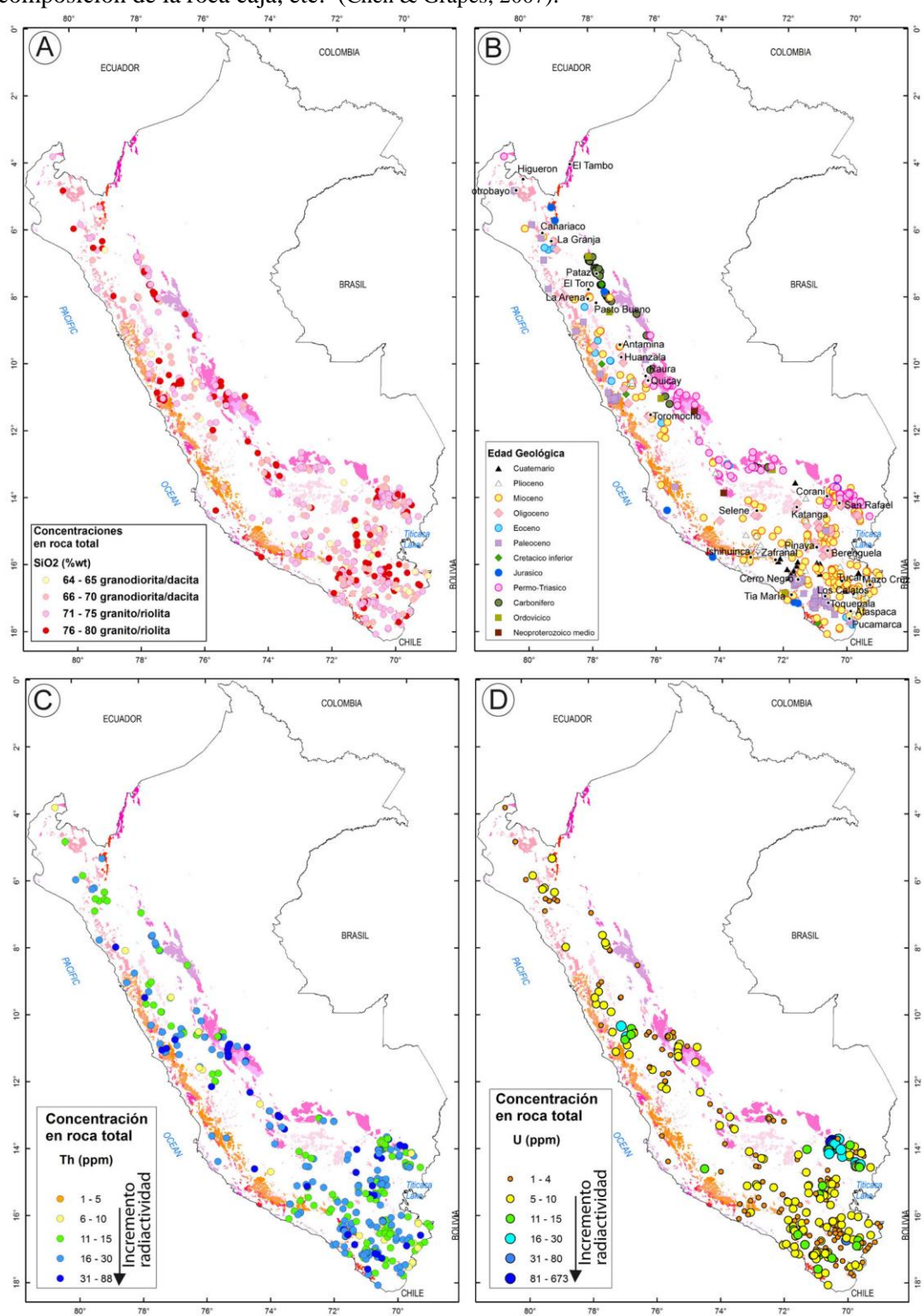


Figura 1. A) Mapa que muestra la distribución espacial de las concentración de SiO₂ (>63% wt) en roca total. B) Mapa con la distribución espacial de la edad geológica de las muestras. Los polígonos de colores corresponden a los mayores afloramientos de intrusivos. Los grupos y símbolos de la leyenda se usan para los diagramas petroquímicos. C) Mapa con las concentraciones de Th (ppm) en roca total. D) Mapa con las concentraciones de U (ppm) en roca total.

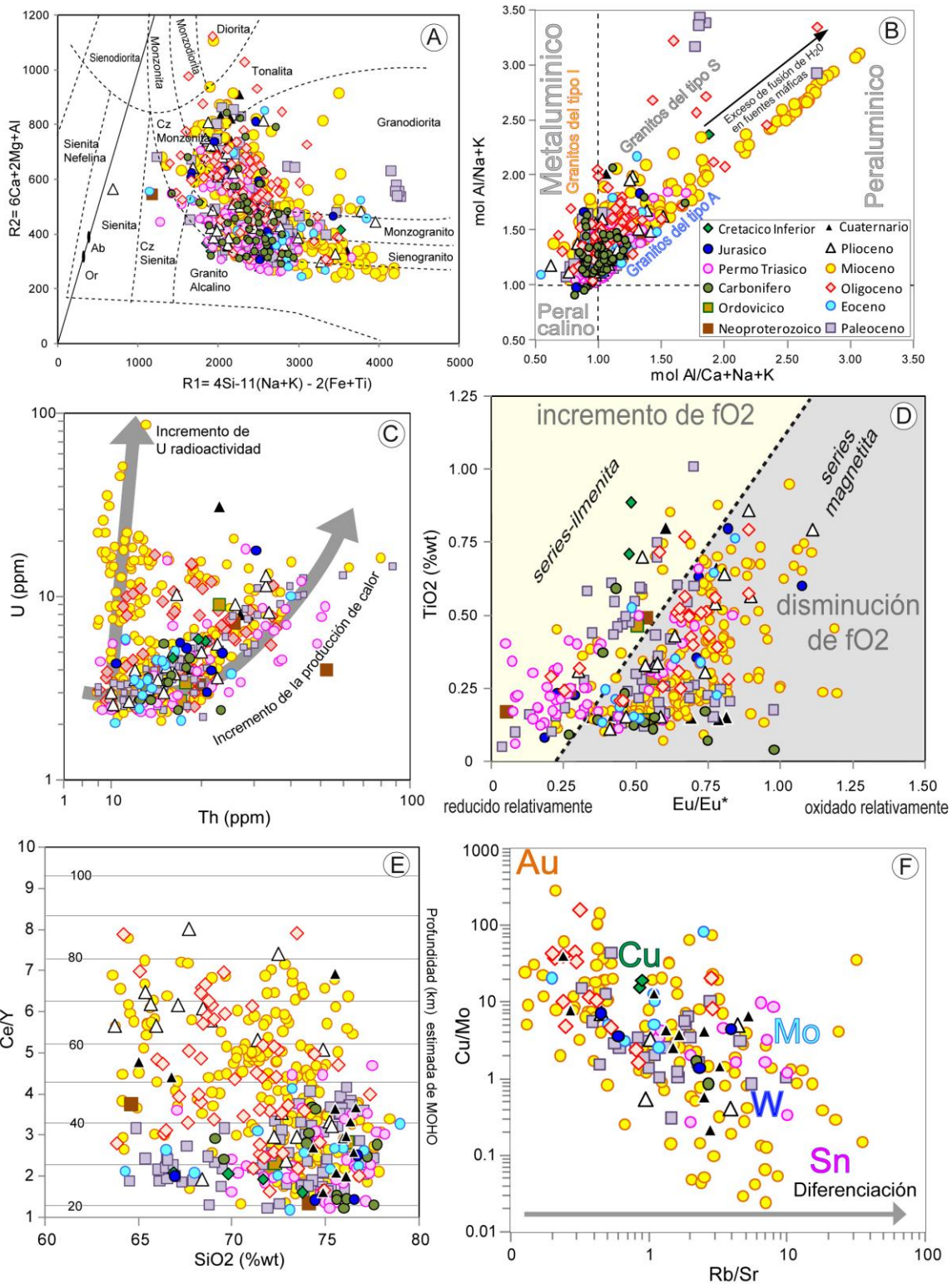


Figura 2. Diagramas binarios para la clasificación y discriminación geoquímica para las rocas diferenciadas (SiO₂>63%). A) Clasificación para el tipo de rocas diferenciada. B) Clasificación en base al Índice de Saturación de Alúmina. C) Diagrama para discriminar el incremento de producción de calor o incremento de radiactividad. D) Diagrama para discriminar las rocas de la serie ilmenita y serie magnetita. E) Diagrama de razones de Ce/Y para estimar la columna vertical de la corteza donde se formaron las rocas diferenciadas. F) Diagrama de la variación de elementos metálicos con la diferenciación.

Aquellos granitos similares a los del tipo HHP con alta concentración de U y Th están relacionados a que los magmas se contaminan en la corteza superior de una columna cortical espesa (mayor a 60 km de espesor), por ejemplo los granitos del Mioceno, Oligoceno, Plioceno y Cuaternario que tienen altos ratios de Ce/Y. Esto indicaría que la diferenciación entre el sistema del fundido no necesariamente se da a mucha profundidad, y lo que sí requiere es adición de energía constante (calor) dentro del sistema. Este requerimiento de calor deriva de la convergencia de las placas, en el caso de la corteza peruana, el incremento de temperatura desde el Oligoceno corresponde a los periodos de aceleración en la convergencia de la placa de Nazca (Pardo Casas & Molnar, 1987), facilitando así la fusión cortical (formación de granitos y rocas volcánicas félsicas) y combinado con otros factores tectónicos y climáticos facilita la compresión lateral (formación de los Andes, plegamiento y fallamiento de las rocas), y un decrecimiento en la temperatura correspondería a la disminución en la convergencia acompañado por el enfriamiento cortical, cristalización de los magmas y un ajuste gravitacional. Para los granitos del Permo-Triásico también se tendría que asumir que se formaron bajo similares condiciones.

CONCLUSIONES

En el Perú se tiene abundantes rocas diferenciadas ($>63 \text{ SiO}_2$) que se asemejan a los granitos del tipo HHP, tienen composición peraluminica y las concentraciones de U ($>6 \text{ ppm}$), Th ($>15 \text{ ppm}$), K ($>3\%$) superan aquellas concentraciones de la corteza continental superior. Aquellos granitos que superen estas concentraciones han sido favorables para producir calor y generar la circulación de fluidos hidrotermales. Estos fluidos hidrotermales circularon mucho tiempo después que las intrusiones graníticas y/o rocas volcánicas félsicas se hayan enfriado y/o cristalizado y así permitió la continuación de la circulación hidrotermal durante un largo periodo de tiempo y se distribuyeron a varios km de distancia de los granitos y/o rocas félsicas. Posibles ejemplos relacionados a estos sistemas en el Perú pueden ser por ejemplo los depósitos de minerales ubicados a los alrededores del Batolito de la Cordillera Blanca, depósitos relacionados a stocks porfiríticos diferenciados (Trapiche, Los Calatos, Uchucchacua, etc), los depósitos relacionados a rocas volcánicas félsicas formadas en sistemas de calderas (Selene, Chucapaca, Yanacocha etc.), y los pórfidos eocénicos emplazados dentro de las superunidades de granitos del Permo-Triásico. Entonces, es importante considerar estos valores en los elementos radiactivos para entender la circulación de fluidos hidrotermales ubicados a grandes distancias de los granitos y/o rocas volcánicas félsicas con características del tipo HHP.

REFERENCIAS

- Chen, G.N., Grapes, R. 2007, *Granite Genesis: In-Situ Melting and Crustal Evolution*, XI, 278, 218 p.
- McLaren S, Nemann N, Sandiford M, Wyborn L., 1999, Post-intrusion heating associated with high-heat-producing Proterozoic granites – implications for mineralisation? *AGSO Res Newslett* 30:23–26.
- Pardo Casas, F., Molnar, P., 1987, Relative motion of the Nazca (Farallon) and South-American plates since late Cretaceous time. *Tectonics*, v. 6, p. 233–248.
- Tyler J (2006) Hot-rock energy steaming up. *The Aust Geol Newslett* 140:22–25.
- Rudnick, R., Fountain, D., 1995, Review of Geophysics, v. 33, NO. 3, p. 267-309, 1995, doi:10.1029/95RG01302.