

# EL BASAMENTO PROTEROZOICO DEL MACIZO DE AREQUIPA, SUR DEL PERÚ: TECTÓNICA Y MINERALIZACIÓN

Paul Torres

INGEMMET Av. Canada 1470, San Borja, [ptorres@ingemmet.gob.pe](mailto:ptorres@ingemmet.gob.pe)  
Universidad Nacional de Ingeniería-UNI, Escuela de Geología, Av. Tupac Amaru 210, Lima-Perú.

## INTRODUCCIÓN

Rocas proterozoicas afloran a lo largo de la costa sur peruana, en la margen del océano Pacífico y se extienden hasta Cordillera Occidental, aflorando aisladamente (Fig. 1A). Constituyen una gran exposición de rocas de edad pre-andina (las rocas más antiguas presentan edades cercanas a 2000Ma), donde la reactivación tectono-termal ha sido reconocida en toda la historia Proterozoica, estando bien documentada a lo largo del macizo, las edades Grenville (~1000-1200Ma, equivalente en Sudamérica a la orogenia Sunsas).

Existen muchos vacíos en el conocimiento del macizo de Arequipa, por ejemplo, en la parte tectónica y litológica, es así que muchos autores toman al macizo como un “complejo” indiferenciado. De la misma manera existe desconocimiento de los tipos de depósitos minerales asociados a este basamento. En este trabajo, se documenta por primera vez un tipo de depósito mineral asociado al basamento proterozoico, que estaría relacionado al evento tectónico (que produjo rocas migmatitas con un metamorfismo en facies granulita en Quilca, ver Fig. 1B) del Mesoproterozoico tardío-Neoproterozoico temprano (~1000-1100Ma), que sería el resultado de la acreción del macizo de Arequipa al cratón Amazonia? (Torres *et al.*, en prep.). Además se plantea una discusión de la tectónica de este macizo, relacionándolo con la edad de mineralización.

## MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El basamento precámbrico de la costa sur del Perú (Fig. 1A) fue denominado por primera vez como gneis de Charcani (Jenks, 1948), que corresponde a los afloramientos restringidos de la ciudad de Arequipa, que luego fueron denominados como Complejo Basal de la Costa por Bellido & Narváez, 1960. Estos últimos autores describen secuencias de gneises y esquistos asociados con intrusivos de granitos rojos y dioritas gneisicas que afloran en el área de Atico. Por último, Cobbing & Pitcher (1972) acuñaron el nombre “macizo de Arequipa” para los afloramientos de gneises, a lo largo de la costa y Cordillera Occidental del sur del Perú y norte de Chile.

El macizo de Arequipa es el basamento principal de los Andes centrales (Wasteneys *et al.*, 1995), presenta una evolución policíclica-compleja magmática y metamórfica. Las rocas más antiguas presentan edades entre 2000Ma y 1900Ma (Wasteneys *et al.*, 1995; Dalmayrac *et al.*, 1977; Ries, 1976). Geocronología preliminar de Rb-Sr y U-Pb indica que el metamorfismo en facies granulita-anfibolita se da entre ~1900-1800Ma (Cobbing *et al.*, 1977 y Shackleton *et al.*, 1979), adicionalmente, análisis geocronológicos U-Pb recientes en zircones de gneises en las áreas de Mollendo, Quilca y Camaná indican un metamorfismo de grado-alto entre 1200 y 970Ma, edades que ponen en evidencia al evento orogénico-metamórfico Grenville (Wasteneys *et al.*, 1995). Alternativamente, Dalmayrac *et al.* (1977) propone que esas rocas experimentaron dos eventos metamórficos, uno durante el Paleoproterozoico (1950Ma) y otro en el Neoproterozoico (600 Ma).

Este macizo (Fig. 1A) está compuesto principalmente por gneises migmatíticos, así entre Camaná y Mollendo, la ocurrencia del ensamble mineralógico ortopiroxeno-silimanita-cuarzo es común en los gneises, migmatitas y granulitas, de manera que son descritas como rocas con metamorfismo de ultra-alta-temperatura (Martignole & Martelat, 2003). En Ilo, extremo sur del macizo de Arequipa, aflora una de las pocas ocurrencias de anortositas, en el basamento de los Andes centrales, de edad proterozoica, cuya edad modelo Sm-Nd es de ~1150Ma (Martignole *et al.*, 2005), evidenciando también al cinturón orogénico-metamórfico Grenville antes mencionado.



En la parte norte del macizo de Arequipa, en la localidad de San Juan (ver Figura 1A), afloran diamictitas interpretadas como depósitos glaciares (tillitas) de la Formación Chiquerío, de probable edad Neoproterozoico (Caldas, 1979). Análisis recientes de zircones y de isótopos de  $^{13}\text{C}$  para las Formaciones Chiquerío y San Juan (calizas dolomíticas con horizontes de mármol gris oscuro, con fósiles de estromatolitos? típicos del Precámbrico superior [Injoque & Romero, 1986]), brindan una edad de deposición para estos sedimentos glaciares (únicos en el cinturón proto-andino) entre 635-750Ma (Chew *et al.*, 2007b). Finalmente Loewy *et al.* (2004), en base a geocronología U-Pb en zircones, indica que el macizo de Arequipa se acretó al cratón Amazonia, durante la orogenia de Sunsas-Grenville (~1000Ma).

## MINERALIZACIÓN

En el área de Quilca, situada en la costa (Fig. 1B), aflora una gran cantidad de depósitos de pegmatitas tipo manto, con alto contenido de feldespato potásico. Los mantos tienen dimensiones de hasta 50m. de largo y 3m. de espesor. Estas pegmatitas están controladas estructuralmente por la foliación dominante y por el Sistema de Fallas Quilca-Mollendo (SFQM) [ver Fig. 1B].

**Las Pegmatitas de Quilca**, se presentan fundamentalmente como mantos en mayor cantidad, así como diques, lentes, venillas y masas irregulares, teniendo como roca hospedante a los gneises migmatíticos y granulitas. Los minerales esenciales de las pegmatitas son ortosa, cuarzo y muscovita; accesoriamente se distinguen hematita cristalizada de color negro hasta de 5cm. de sección (se presenta en forma de venas), también biotita y flogopita, esta última generalmente en el contacto con el gneis. La ortosa es de color rosado o blanco, ocurre en cristales de hasta unos 15cm. de sección y constituye alrededor del 70% del depósito. La mica (muscovita) se halla en paquetes hexagonales planares de hasta 30cm. de sección, el cuarzo es blanco lechoso a hialino y con algunas manchas de óxido de hierro. El emplazamiento de las pegmatitas en forma de mantos, se da en los planos de foliación, los que presentan una dirección mayor entre N340-N20 (N-S) y una menor, entre N40-N60 (NE-SO).

La asociación mineralógica de las pegmatitas: feldespato potásico + cuarzo + muscovita  $\pm$  óxido de hierro (hematita cristalizada,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )  $\pm$  biotita (Fig. 2B y 2C), es la primera reconocida en el basamento fundamental de la parte norte de los Andes centrales. En algunos mantos de pegmatita, la cantidad de óxido de hierro cristalizado predomina con una ley de pureza ~86% (Difracción de rayos X), y rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) asociado con una ley de pureza ~4%. Esta ocurrencia de hierro en las pegmatitas es anómala. Asimismo, la única ocurrencia de hierro bandeado reconocida aun, en el macizo de Arequipa se encuentra en Tarpuy (localizado a ~6Km. al norte de Matarani-Mollendo), estando constituida por bandas de cuarzo, intercaladas con láminas delgadas de una mezcla de hematita y magnetita (Fernandez, 1956). La relación entre estos dos tipos de ocurrencias de hierro no es clara aun, necesiándose profundizar en la investigación.

La edad de las pegmatitas estarían entre ~1000-1100Ma, siendo el resultado de la acreción del macizo de Arequipa al cratón Amazonia, el cual produjo un metamorfismo en facies granulita (Torres *et al.*, en prep.). Pero una datación preliminar de K-Ar en biotita, para una pegmatita de Cerro Verde-Arequipa, en la Cordillera Occidental, realizada por Cordani *et al.*, (2000), indica una edad de  $517 \pm 27\text{Ma}$  (Neoproterozoico tardío-Cámbrico), que podría también corresponder a la edad de mineralización de las pegmatitas, necesiándose hacer un estudio geocronológico de las pegmatitas de Quilca (Torres *et al.*, en prep., ver Fig. 1B y Fig. 3).

## TECTÓNICA (DISCUSIÓN)

Ries *et al.* (1976) fueron los primeros autores que señalan un metamorfismo en los gneises de Mollendo en facies granulita con una edad de  $1960 \pm 33\text{Ma}$ . Luego Dalmyrac *et al.* (1977), mencionan dos eventos orogénico-metamórficos: (1) el primer evento progrado, produce gneises, caracterizado por biotita-estauroлита, granate-cianita-silimanita-feldespato potásico de asociaciones relictas de un tipo de presión media con cordierita en paragénesis catazonal de facies granulita, datado en 1950Ma, edad similar a la obtenida por Ries *et al.* (1976); (2) el segundo de baja presión,

caracterizado por clorita-muscovita-epidota-cordierita, que corresponde a un metamorfismo retrogrado epizonal, datado en 600Ma.

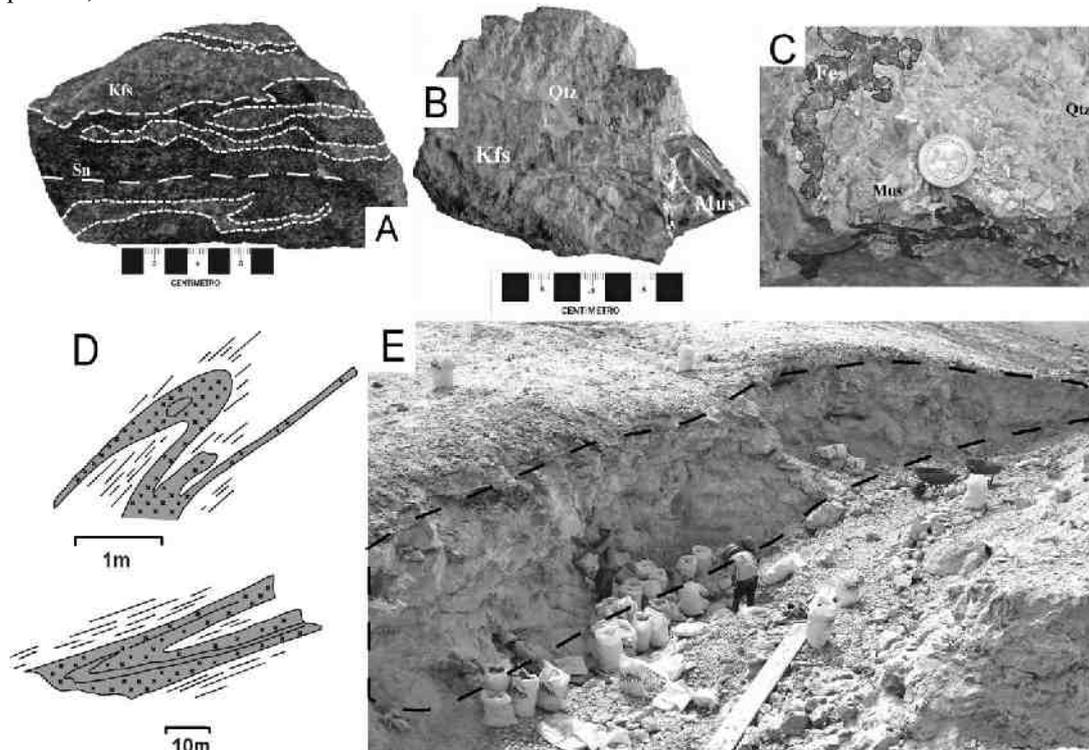


Figura. 2. (A) Migmatita de Quilca. (B) Feldespato Potásico: Kfs (ortosa) asociado a cuarzo (Qtz) y muscovita (Mus). (C) hematita negra cristalizada (Fe) intercrecida con cuarzo, muscovita y ortosa. (D) Forma geométrica común de las pegmatitas (E) Manto de pegmatita con minerales mencionados en B y C.

Por otro lado, Cobbing *et al.* (1977), indican tres eventos metamórficos: (1) el primer evento en facies granulita, que produjo una extensa área de gneises indiferenciados, datado en 1811Ma, (2) el segundo evento de deposición sedimentaria y subsiguiente metamorfismo produjo esquistos y gneises en facies anfibolita, datado en 1340Ma, (3) y el tercer evento de migmatización que probablemente afectó a los gneises y esquistos, y que pudo haber sido contemporáneo con el ya mencionado evento metamórfico en facies anfibolita o pudo haber tenido lugar en el Precámbrico tardío o Cámbrico?

De igual manera Shackleton *et al.* (1979) mencionan tres eventos de metamorfismo: (1) el primero denominado evento "Mollendo" en los silimanita-gneises de Mollendo en facies granulita, datado en 1918Ma, produciendo también, probablemente estaurolita-andalucita esquistos, (2) seguido por un metamorfismo denominado evento "Atico" donde una serie de rocas ígneas ácidas y básicas fueron intruidas y deformadas en facies anfibolita, habiendo comenzado en  $679 \pm 12$ Ma (Stewart *et al.*, 1974, en el gneis de Charcani) y finalizando en 440Ma, (3) y un tercer evento denominado "Marcona", ocurrió previa erosión del complejo Atico, depositándose discordantemente los sedimentos de la formación Marcona, con ligera deformación, asociado a un metamorfismo en facies esquistos verdes, datado en 392Ma.

Wasteneys *et al.* (1995) sin embargo discuten la edad del metamorfismo en facies granulita, dando una edad mucho mas joven, ya que está sobre impuesta a los anteriores metamorfismos, así, en Quilca dio una edad de  $1198 +6/-4$ Ma y en Mollendo  $970 \pm 23$ Ma. Estas edades están de acuerdo con una edad preliminar  $1012 \pm 52$ Ma en el gneis de Charcani (James & Brooks, 1976), que fue la primera edad Grenville mencionada. En consecuencia, Wasteneys *et al.* (1995) concluyen que las isócronas publicadas de  $\sim 1900$ Ma de Rb-Sr para los gneises del macizo de Arequipa corresponden a edades del protolito meta-granitoide y que no fueron afectados por el metamorfismo de alto grado, relacionándolos entonces con la orogenia de Grenville. Además Martignole & Martelat (2003), indican recientemente una edad de metamorfismo en  $998 \pm 11$ Ma para un gneis migmatítico de Camaná, que refuerza la presencia de edades Grenville en la costa sur del Perú.

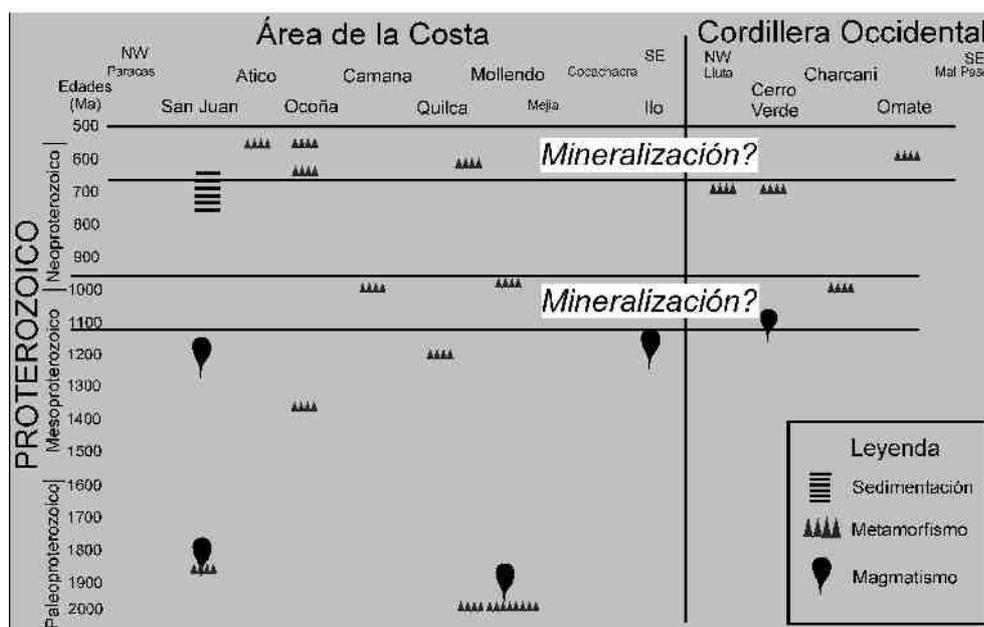


Figura. 3 Historia tectónica del macizo de Arequipa (Modificado de Torres et al., 2008a)

Rocas protolitos del basamento gneisico en San Juan y Mollendo cristalizaron entre 1851 y 1819Ma. Además la edad de cristalización de un granito de San Juan es de 1793Ma, datado por U-Pb en zircones (Loewy *et al.*, 2004). Esto nos indicaría preliminarmente que existió un evento metamórfico Paleoproterozoico (Fig. 3) asociado a un magmatismo, que afecto a las secuencias meta-sedimentarias mas profundas del macizo de Arequipa, produciendo gneises en facies anfibolita a granulita, así evidenciado en los intrusivos que cortan a los gneises proterozoicos de San Juan de Marcona. Loewy *et al.*, (2004), indican que el macizo de Arequipa sufrió tres pulsos distintos de metamorfismo y deformación: (1) 1820-1800Ma, (2) 1200-940Ma y (3) 440Ma.

Estos grupos de edades están correlacionados con los eventos orogénico-metamórfico, asociados a la deformación que ha sufrido el macizo de Arequipa, comprendidas en la historia Proterozoica: edades paleoproterozoicas, por ejemplo en Mollendo cercanas a 2000Ma, edades mesoproterozoicas, como en Ocoña, cercanas a 1340Ma? y también edades del Mesoproterozoico tardío-Neoproterozoico temprano, como en Camaná, Mollendo, Charcani, Southern Peru-Ilo, Cocachacra, cercanas al rango 1200-950Ma (edades Grenville) y Neoproterozoicas, como en San Juan de Marcona y Mollendo, cercanas al rango 700-600Ma. Todas estas edades indican una evolución magmática-metamórfica policíclica que tuvo este macizo en el Proterozoico.

## CONCLUSIONES

El análisis de la tectónica del basamento de la parte norte de los Andes Centrales, en el sur del Perú y al norte de Chile, muestra una evolución magmática y metamórfica policíclica en el Proterozoico, con edades para un magmatismo-metamorfismo en el Paleoproterozoico evidenciado en San Juan y Mollendo, así como un magmatismo granítico en San Juan. De la misma manera un metamorfismo en Camaná-Mollendo y San Juan en el Mesoproterozoico, serían evidencias que concuerdan con la acreción en ~1000Ma del macizo de Arequipa al cratón de Amazonia. Los análisis radiométricos llevados a cabo en el macizo de Arequipa indican tres grupos de edades bien diferenciados en todo el Proterozoico (Fig. 3).

La nueva cartografía en la zona de Quilca nos revela el primer depósito mineral (tipo pegmatita) del macizo de Arequipa con una asociación mineralógica: feldspato potásico + cuarzo + muscovita ± óxido de hierro (hematita cristalizada) ± biotita, donde en algunos mantos de pegmatita, la cantidad de óxido de hierro cristalizado predomina con una ley de pureza ~86%. La edad de mineralización de

estos depósitos estarían comprendidas entre el Mesoproterozoico tardío-Neoproterozoico temprano (~1000-1100Ma), o quizás Neoproterozoico tardío-Cámbrico, edad que se correlaciona con una pegmatita datada de la zona de Cerro Verde-Arequipa, de  $517 \pm 27$ Ma (Cordani *et al.*, 2000).

## AGRADECIMIENTOS

El autor esta muy agradecido al Dr. Cesar Casquet (Universidad Complutense de Madrid) por el asesoramiento y enseñanzas en el trabajo de campo, al Dr. José Macharé por las recomendaciones y comentarios, y al Dr. Víctor Carlotto (INGEMMET) por la revisión, sugerencias y sobretodo por el apoyo a este trabajo.

## REFERENCIAS

- Bellido, E., & Narváez, S. 1960. Geología del cuadrángulo de Atico, hoja 33-o. *INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional*, n. 2, p. 59.
- Caldas, J. 1979. Evidencias de una glaciación Precámbrica en la costa sur del Perú. *Segundo Congreso Geológico Chileno*, Arica. p. J-29 a J-38.
- Chew, D., Kirkland, C., Schaltger, U., and Goodhue, R 2007b. Neoproterozoic glaciation in the Proto-Andes: Tectonic implications and global correlation. *Geology*, v. 35; n.12; p.1095-1098.
- Cobbing, E. & Pitcher, W. 1972. Plate tectonics and the Peruvian Andes, *Nature* 246, 51-53.
- Cobbing, E., Ozard, J., and Snelling, N. 1977. Reconnaissance geochronology of the basement rocks of the Coastal Cordillera of southern Peru. *Geological Society of American Bulletin*, v.88, p. 241-246.
- Cordani, U., Kawashita, K., Siegl, G., and Vicente, J. 1985. Geochronological results from the southeastern part of the Arequipa massif. *Comunicaciones*, 35, p. 45-51.
- Dalmayrac, B., Lancelot, J., and Leyreloup, A., 1977. Two-billion-year granulites in the late Precambrian metamorphic basement along the southern Peruvian coast. *Science*, Vol. 198, p. 49-51.
- Injoque, J., & Romero, L. 1986. Estromatolitos (?) en la Formación San Juan, San Juan de Marcona. Evidencia de Estructuras Fósiles Precámbricas en el Perú. *De Re Metallica*. Enero-Febrero.
- James, D. & Brooks, C. 1976. Preliminary Rb/Sr data on the minimum age of the central Andean Precambrian basement complex. *Yb Carnegie Instn.* Wash. 75, p. 213-216.
- Jenks, W. 1948. Geología de la hoja de Arequipa al 200,000. Geología de la carta nacional del Perú. *Instituto Geológico del Perú. Boletín*, n. 9, p. 204.
- Loewy, S., Connelly J., and Dalziel, I. 2004. An orphaned basement block: The Arequipa-Antofalla Basement of the central Andean margin of South America. *GSA Bulletin*, v. 116, p. 171-187.
- Martignole, J. & Martelat, J. 2003. Regional-scale Grenvillian-age UHT metamorphism in the Mollendo-Camaná block (basement of the Peruvian Andes), *J. metamorphic Geol.*, V. 21, p. 99-120.
- Martignole, J., Stevenson, R., and Martelat, J. 2005. A Grenvillian anorthosite-mangerite-charnockite-granite suite in the basement of the Andes: The Ilo AMCG suite (southern Peru). *6th International Symposium on Andean Geodynamics ISAG*, Barcelona, Extend Abstracts: p. 481-484.
- Ries, A. 1976. Rb/Sr ages from the Arequipa massif, southern Peru. Instituto de estudios africanos, *Boletín de la Universidad de Leeds*.
- Shackleton, R., Ries, A., Coward, M and Cobbold, P. 1979. Structure, metamorphism and geochronology of the Arequipa massif of coastal Peru". *J. geol. Soc. Lond.* v.136, 1979, p. 195-214.
- Stewart, W., Everden, J., and Snelling, N. 1974. Age Determinations from Andean Peru: A Reconnaissance Survey", *Geological Society of American Bulletin*, v. 85, p. 1107-1116.
- Torres, P., Alván, A., Acosta, H. 2008a. The Proterozoic basement of the Arequipa massif, southern Peru: Lithologic domains and tectonics. *7th International Symposium on Andean Geodynamics ISAG*, Niza, Extend Abstracts: p. 549-552.
- Wasteneys, H., Clarck, A., Farrar, E., and Langridge, R., 1995. Grenvillian granulite-facies metamorphism in the Arequipa massif, Peru: a Laurentia-Gondwana link. *Earth and Planetary Science Letters* 132, p. 63-73.