

# LOS GRANITOIDES PERALUMÍNICOS TRIÁSICOS DE LOS CERROS DE AMOTAPE Y DEL MACIZO DE ILLESCAS (NOROESTE DE PERÚ): IMPLICACIONES PARA LA EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DEL TERRENO AMOTAPE

F. Bellido<sup>1</sup>, F. Jaimes<sup>2</sup>, V. Carlotto<sup>2</sup> y E. Díaz-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IGME, Calera 1, 28760 Tres Cantos, España <f.bellido@igme.es>

<sup>2</sup> INGEMMET, Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú <fjaimes@ingemmet.gob.pe>

## RESUMEN

En el basamento cristalino del extremo noroeste de Perú aflora un conjunto de granitoides triásicos correspondientes a una asociación granítica de tipo S en la que los componentes restíticos y el grado de diferenciación permiten distinguir dos dominios. En los extremos norte (Zarumilla-Quebrada de Angostura) y sur (Illescas) se encuentran migmatitas y granitoides migmatíticos peraluminicos que pertenecen a un dominio autóctono catazonal. En el sector central (Huaypirá) afloran monzogranitos y granitos biotíticos con cordierita, emplazados en metasedimentos siliciclásticos de edad Paleozoico inferior a medio, que corresponden a plutones desenraizados de carácter alóctono y epizonal. Ambos grupos están relacionados genéticamente y son el resultado de la fusión de metasedimentos de la corteza continental superior por procesos anatéticos relacionados con un evento tectónico extensional con escasa participación de componentes mantélicos. El engrosamiento cortical del margen de Gondwana en el Paleozoico, seguido del rifting y adelgazamiento cortical en el Pérmico y Triásico, explican la formación de ambos dominios de la misma asociación granítica, previa a la separación y desplazamiento latitudinal hacia el norte en el Jurásico, y posterior acreción al continente con deformación y rotación del terreno parautoctono Amotape en el Cretácico. La distribución geográfica actual de los dominios catazonal y epizonal identificados para los granitoides triásicos sería resultado de la acción de fallas lístricas del rift permotriásico, con posterior rotación dextrógira y erosión del conjunto.

**Palabras clave:** granito, migmatita, tectónica extensional, Illescas, Amotape, Perú.

## ABSTRACT

The crystalline basement of northwestern Peru includes Triassic granitoids corresponding to a S-type granitic suite. Restitic components and variable degrees of differentiation allow to distinguish two domains. Migmatites and peraluminous migmatitic granites in the extreme north (Zarumilla-Quebrada de Angostura) and south (Illescas) form part of an autochthonous catazonal complex. Monzogranites and cordierite-bearing biotitic granites emplaced in Early to Middle Paleozoic siliciclastic metasediments in the central area (Huaypirá) are allochthonous epizonal plutons. Both domains are genetically related and the result of metasediment melting in upper continental crust due to anatexis, and related with an extensional tectonic event with little participation of mantle-derived components. Paleozoic crustal thickening of Gondwana's margin, followed by Permian and Triassic rifting and crustal thinning, explain the origin of both complexes of the same granitic suite, prior to the separation and northward latitudinal displacement in the Jurassic, and later accretion to the continent with deformation and rotation of the Amotape parautochthonous terrane since the Cretaceous. The modern geographic distribution of the catazonal and epizonal domains identified for the Triassic granitoids would be the result of Permo-Triassic rift listric faults, later rotated clock-wise and eroded.

**Keywords:** granite, migmatite, extensional tectonics, Illescas, Amotape, Perú.

## INTRODUCCIÓN

En el noroeste del Perú afloran rocas metamórficas y plutónicas del basamento en el Macizo de Illescas, Paíta y los Cerros de Amotape (departamentos de Tumbes y Piura; Figura 1). Todo este conjunto de materiales cristalinos pertenece a un mismo bloque parautoctono de corteza continental llamado terreno Amotape-Tahuín (Mourier et al., 1988), y que aquí llamaremos Terreno Parautoctono Amotape (TPA). La diferente evolución meso-cenozoica al norte y sur de esta zona del margen andino de Sudamérica dio lugar a la deflexión de Huancabamba, zona de tránsito entre los Andes del Norte, dominados por la acreción de terrenos de origen oceánico, y los Andes Centrales, dominados por engrosamiento cortical y erosión tectónica del margen continental. El TPA, como bloque de basamento parautoctono adosado a este margen continental, también forma parte de esa transición entre el margen dominado por terrenos alóctonos al norte, y el margen dominado por terrenos autóctonos al sur.

El basamento del TPA está constituido por metasedimentos de edad proterozoica y paleozoica (Caldas, 1979; Caldas et al., 1980; Palacios, 1994; Caldas y Farfán, 1997; Sánchez et al., 2006a; Cardona et al., 2008) intruidos por granitoides que en algunos casos tienen edades triásicas (Sánchez et al., 2006b; Cardona et al., 2008). El objeto del presente trabajo es presentar los resultados obtenidos del análisis estructural, petrológico y geoquímico de estos granitoides y de la interpretación de su contexto geotectónico, concluyendo en un modelo que permite explicar de forma coherente su origen, formación y distribución actual como resultado de la evolución del TPA dentro del contexto de la Deflexión de Huancabamba y de la transición entre los Andes del Norte y los Andes Centrales.

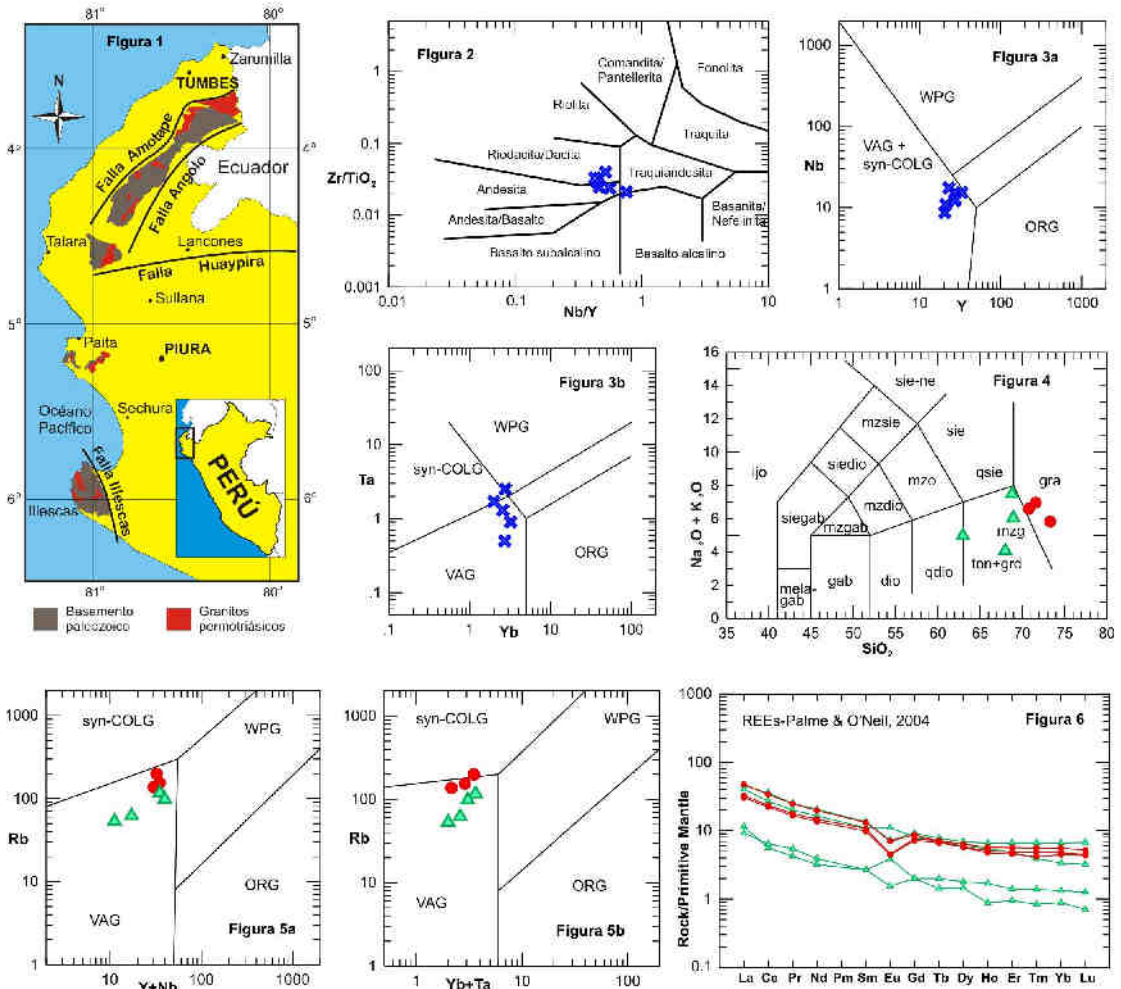


Figura 1: Esquema geológico y situación geográfica de los afloramientos estudiados. Figura 2: Identificación de los materiales originarios de los metasedimentos a partir de elementos inmóviles (Winchester y Floyd, 1977). Figuras 3a y 3b: Identificación del ámbito geodinámico de los materiales originarios de los metasedimentos (Pearce et al., 1984). Figura 4: Clasificación de los granitoides según el diagrama TAS. Figuras 5a y 5b: Caracterización geotectónica de los granitoides (Pearce et al., 1984). Figura 6: Normalización de REEs de los granitoides a la composición del manto primitivo. Símbolos: aspas azules = metasedimentos, puntos rojos = granitos biotíticos con cordierita, triángulos verdes = granitoides migmatíticos.

## **DOMINIOS TECTONOMAGMÁTICOS DIFERENCIADOS**

Las características texturales y composicionales de los granitoides triásicos del basamento cristalino del TPA corresponden a una asociación granítica de tipo S en la que los componentes restíticos y el grado de diferenciación permiten distinguir dos dominios:

### **DOMINIO CATAZONAL**

En las zonas de la Quebrada de la Angostura-Zarumilla-Palmales e Illescas-Bayóvar (Fig. 1) afloran migmatitas y granitoides migmatíticos que corresponden a un dominio catazonal en el que se han producido fundidos fuertemente peraluminicos. La composición de los granitoides migmatíticos varía entre tonalitas y leucogranitos. Entre los minerales accesorios de estos granitoides se pueden encontrar granate, sillimanita, cordierita, opacos, apatito, circón y monacita. El granate esta variablemente sustituido por sillimanita, biotita o cordierita y se encuentra una proporción variable de moscovita de origen retrógrado. Sus texturas son hipidiomórficas heterogranulares o de grano medio, orientadas, pero con escasa deformación de los minerales. Estos granitoides migmatíticos contienen abundantes enclaves metamórficos de alto grado, "resisters" y restitas ricas en biotita, en su mayor parte de origen metasedimentario. Además, también se encuentran algunos enclaves microgranudos en la zona de Zarumilla-Palmales y enclaves de anfibolita en la zona de Illescas. La estructura de estas rocas es bastante heterogénea, con bandeados composicionales o texturales. Aunque estos granitoides presentan orientaciones de flujo y bandeados, la deformación de los minerales es poco importante y las principales estructuras deformativas que se observan en los enclaves y restitas suelen ser anteriores al proceso de migmatización. En estas zonas se encuentran esquistos y paragneises variablemente migmatizados cuyas fábricas indican que los procesos de fusión fueron en parte contemporáneos con la fase deformativa que generó la foliación principal. No obstante, se observa de forma generalizada que los enclaves metamórficos y las restitas han sido desmembrados y fragmentados por los fundidos graníticos. Todas estas observaciones indican que los procesos de migmatización se prolongaron hasta fases bastante tardías del evento orogénico permotriásico relacionado con estos procesos tectonotérmicos

### **DOMINIO EPIZONAL**

En zonas próximas al anterior dominio (Bocana de Carrillo-Higuerón, Huaypirá y Pananga-Potrero) afloran granitoides más homogéneos y con menor proporción de enclaves metamórficos y restitas. Se trata de plutones epizonales desenraizados de monzogranitos y granitos biotíticos, con moscovita y frecuentes fenocristales de cordierita, que tienen texturas hipidiomórficas de grano grueso, porfídicas o con megacristales de feldespato potásico dispersos. La mineralogía principal consta de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita, siendo muy común la presencia de cordierita. Como minerales accesorios se encuentran moscovita, apatito, opacos, circón, monacita y turmalina. La moscovita es de carácter tardi o postmagmático, y la cordierita se encuentra generalmente sustituida por agregados de micas. La presencia de algunos enclaves de migmatitas con contactos graduales con los granitoides indica que éstos fueron relativamente contemporáneos con la migmatización. En menor proporción se encuentran pequeños cuerpos y filones de leucogranitos. No son raros los microenclaves restíticos y de metasedimentos, y son también relativamente frecuentes los enclaves microgranudos tonalíticos que indican un cierto grado de hibridación con magmas básicos. Los granitoides pueden presentar localmente orientaciones de flujo o estructuras cataclásticas, pero no se aprecian en ellos fábricas deformativas dúctiles. Este grupo plutónico es también de tipo S e intruye discordantemente en metasedimentos siliciclásticos del Paleozoico medio y superior afectados por metamorfismo de

bajo grado, en los que produce un metamorfismo de contacto que se manifiesta por la presencia de fenoblastos de cordierita y/o andalucita.

## **GEOQUÍMICA DE LOS METASEDIMENTOS Y GRANITOIDES**

La composición de los metasedimentos encajantes de los granitoides de los Amotapes cubre un espectro equivalente al de rocas ígneas peraluminosas, de composición andesítica, dacítica y riódacítica (Figura 2) que, de acuerdo con los diagramas de discriminación geodinámica de Pearce et al. (1984), se proyectan mayoritariamente en los campos de asociaciones ígneas orogénicas (Figuras 3a y 3b), lo que apoya la hipótesis de que proceden de sedimentos derivados de la erosión de este tipo de rocas. Los granitoides estudiados se proyectan en el campo de las tonalitas, granodioritas y granitos del diagrama TAS adaptado para rocas plutónicas (Figura 4). Todos ellos son de carácter peraluminico y presentan una evolución de tendencia calcoalcalina.

En cuanto a su caracterización geodinámica por criterios geoquímicos, según los diagramas Rb-Y+Nb y Rb-Yb+Ta de Pearce et al. (1984), los granitoides estudiados se sitúan en el campo de las asociaciones magmáticas de arco volcánico (Figuras 5a y 5b).

En los diagramas de REE normalizados a la composición del manto primitivo de Palme y O'Neill (2004), los espectros de estos granitoides presentan un fraccionamiento LREE/HREE relativamente débil (epizonales  $La/Yb_n = 7,63$ ; migmatíticos  $La/Yb_n = 9,49$ ) con pequeñas anomalías positivas o negativas de Eu (Figura 6). Las LREE tienen un fraccionamiento moderado, mientras que las HREE tienen fraccionamientos bastante débiles. Los granitoides migmatíticos de Angostura son considerablemente más pobres en REE ( $\Sigma REE = 29,3$ ), aunque la configuración de sus espectros es muy similar a la del resto de los granitoides estudiados. Las anomalías positivas de Eu que se observan en algunos granitoides migmatíticos son debidas a la retención de plagioclasa restítica en algunos de ellos.

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Nuestras observaciones realizadas en el TPA ponen en evidencia que, desde el norte (Cerros de Amotape) hasta el sur (Macizo de Illescas), existe en profundidad un substrato catazonal con migmatitas y granitoides migmatíticos que proceden de la fusión de metasedimentos siliciclásticos con procesos anatéticos que asociamos con un episodio de tectónica extensional. En zonas próximas adyacentes al este y sur, siempre dentro del mismo TPA, se encuentra un dominio epizonal con granitoides peraluminicos que corresponden a fundidos corticales más desenraizados y evolucionados que están emplazados en metasedimentos de bajo grado en los que producen metamorfismo de contacto. Los granitoides de ambos dominios (catazonal y epizonal) tienen características petrológicas y geoquímicas que evidencian que se han formado a partir de magmas generados por la fusión, en niveles poco profundos de la corteza continental superior, de materiales que deben ser en parte semejantes a los metasedimentos paleozoicos que afloran en la zona. Los granitoides migmatíticos de la Quebrada de la Angostura tienen unas características geoquímicas que permiten diferenciarles del resto de los granitoides estudiados, y que posiblemente se deben a la participación en su génesis de materiales distintos de los metasedimentos considerados.

El emplazamiento de los granitoides epizonales fue bastante tardío dentro del evento tectono-térmico en el que se generaron y carecen de fabricas deformativas dúctiles. No obstante, la presencia en ellos de enclaves migmatíticos con contactos difusos, indica que no ha existido un desfase temporal importante entre la intrusión de estos granitos en niveles someros y los procesos de migmatización en niveles más profundos.

El dominio catazonal del TPA es bastante similar al Complejo Anatético de Toledo (España), relacionado con el Orógeno Varisco Ibérico (Barbero, 1995; Barbero y Villaseca, 1995), en el que se encuentra un conjunto de migmatitas y granitoides migmatíticos peraluminicos muy similares a los que afloran en los complejos migmatíticos de Angostura, Zarumilla e Illescas. En el Complejo Anatético de Toledo, el pico metamórfico relacionado con la migmatización se produjo a  $800^\circ \pm 50^\circ\text{C}$  y 4-6 Kb según los autores referidos previamente, y los procesos de fusión comenzaron con reacciones del tipo  $Bi+Sill+Pg+Q = Gt+Fk+fundido$  que, según progresaba la extensión, evolucionaron a  $Bi+Sill+Pg+Q = Gt+Cd+Fk+fundido$ .

Los granitos alóctonos epizonales del TPA son muy parecidos a los del Domo Extremeño y de la alineación Albuquerque-Pedroches, ambos en España, también biotíticos y con megacristales de cordierita. En España, estos plutones también están emplazados en metasedimentos siliciclásticos de bajo grado y su origen se relaciona con la fusión de materiales metasedimentarios y ortogneísicos en niveles corticales poco profundos, en unas condiciones P-T similares a las del Complejo Metamórfico de Toledo.

A pesar de sus evidentes características petrológicas y geoquímicas indicando claramente que se trata de granitoides de tipo S, la clasificación geoquímica como de tipo VAG (granitoides de arco volcánico) para ambos conjuntos de granitoides de España y de Perú se debe a que las proporciones de elementos inmóviles utilizados en la clasificación fueron heredadas de rocas ígneas de un arco volcánico anterior al Devónico o Carbonífero, y que después fueron erosionadas e incorporadas a los sedimentos del Paleozoico superior que sufrieron el metamorfismo, la migmatización y la fusión.

De acuerdo con las dataciones realizadas por el método de Ar/Ar en biotitas de granitos de las zonas de Angostura, Matapalo y Peñitas (Sánchez et al., 2006b), tanto el emplazamiento de los granitoides triásicos del TPA como el enfriamiento de los granitoides migmatíticos tiene edades comprendidas entre  $222,9 \pm 1,2$  Ma y  $219,5 \pm 1,2$  Ma.

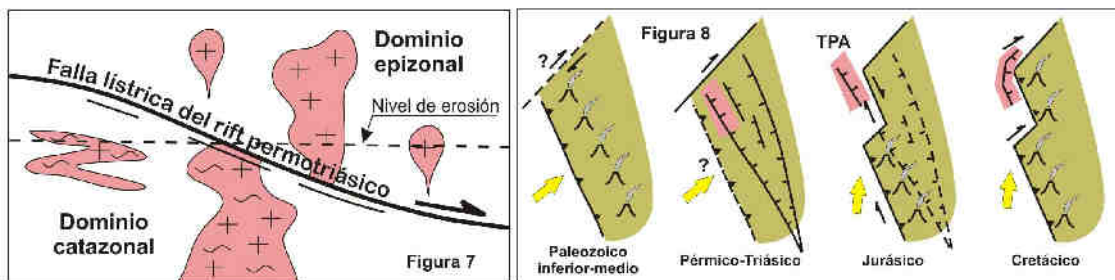


Figura 7: Esquema de una sección transversal hipotética del Terreno Parautóctono Amotape (TPA) mostrando la tipología y emplazamiento de los granitoides en los dos dominios estructurales identificados en las zonas estudiadas. Figura 8: Modelo para la evolución del TPA en el entorno de la Deflexión de Huancabamba (sur de Ecuador y norte de Perú; límite Andes del Norte-Andes Centrales) en el margen occidental de Gondwana (Sudamérica). Basado parcialmente en Mourier et al. (1988), Jaillard et al. (2000, 2002) y Sempere et al. (2002).

La interpretación de ambos dominios (autóctono catazonal y alóctono epizonal) pertenecientes a la misma asociación granítica de tipo S, y su integración coherente dentro del modelo evolutivo establecido para el margen occidental de Gondwana y Sudamérica (Mourier et al., 1988; Jaillard et al., 2000, 2002; Sempere et al., 2002) nos permite proponer un modelo de evolución del TPA como sigue (Figuras 7 y 8):

- 1.- Engrosamiento cortical del margen activo de Gondwana en el Paleozoico, incluyendo la formación de un arco magmático de subducción que fue parcialmente erosionado en el Devónico y Carbonífero, de tal forma que los sedimentos resultantes heredaron las proporciones de tierras raras del arco.
2. Adelgazamiento cortical y rifting del margen de Gondwana en el Pérmico y Triásico, incluyendo la desmembración y separación del TPA, y la formación de los granitoides y migmatitas.
3. Desplazamiento latitudinal del TPA hacia el norte en el Jurásico, siguiendo una trayectoria paralela al margen continental.
4. Acreción del TPA en el Cretácico, incluyendo la deformación dextral de su mitad septentrional, inducida por la presencia del promontorio heredado del margen continental y por la acreción de otros terrenos alóctonos más al norte. La rotación dextrógira del bloque y la erosión de sus niveles superiores generó la distribución actual de los dominios catazonal y epizonal heredados del rift permotriásico.

## AGRADECIMIENTOS

A E. Russe y J.P. Navarro, del equipo de trabajo del Proyecto de Investigación GR-9 del INGEMMET, por su apoyo y sugerencias en campo y gabinete. Este trabajo se ha realizado en el marco del convenio de colaboración establecido entre el INGEMMET y el IGME, dentro del proyecto "Evolución tectonosedimentaria de los Andes del Perú en el Paleozoico Superior", con financiación propia de ambas instituciones.

## REFERENCIAS

- Barbero, L. 1995. Granulite facies metamorphism in the Anatectic Complex of Toledo, Spain: late Hercynian tectonic evolution by crustal extension. *Journal of the Geological Society of London*, 152, p. 365-382.
- Barbero, L. y Villaseca, C. 1995. Geochemical and isotopic disequilibrium in crustal melting: An insight from the anatectic granitoids from Toledo, Spain. *Journal of Geophysical Research*, 100, p. 15745-15765.
- Caldas, J. 1979. Complejo metamórfico de Illescas. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 63, 217-235.
- Caldas, J. y Farfán, C. 1997. Tectonismo, magmatismo y sedimentación en la cuenca Lancones. IX Congreso Peruano de Geología, Resúmenes extendidos, p. 249-253.
- Caldas, J., Palacios, O., Pecho, C.H. 1980. Geología de los Cuadrángulos de Bayóvar, Sechura, La Redonda, Punta la Negra, Lobos de Tierra, Las Salinas y Mórrope. INGEMMET, Boletín 32.
- Cardona, A., Cordani, U.G. y Nutman, A.P. 2008. U-Pb SHRIMP zircon,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology and Nd isotopes from granitoid rocks of the Illescas Massif, Peru: a southern extension of a fragmented Late Paleozoic orogen? VI South American Symposium on Isotope Geology, San Carlos de Bariloche, Argentina. En prensa.
- Jaillard, E., Héral, G., Monfret, T., Díaz-Martínez, E., Baby, P., Lavenu, A., y Dumont, J.F. 2000. Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northernmost Chile. En: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. y Campos, D.A. (eds.), "Tectonic Evolution of South America", p. 481-559. Rio de Janeiro.
- Jaillard, E., Ethien, R., Lapierre, H., Reynaud, C., Mamberti, M. y Gabrielle, P. 2002. Evolution of the Cretaceous Celica-Lancones forearc basin (NW Peru-SW Ecuador). 3rd European Meeting on Palaeontology and Stratigraphy of Latin America, Toulouse. Abstracts volume, p. 323-326.
- Mourier, T., Laj, C., Mégard, F., Roperch, P., Mitouard, P. y Farfán Medrano, A. 1988. An accreted continental terrane in northwestern Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 88, p. 182-192.
- Palacios, O. 1994. Geología de los cuadrángulos de Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada Seca, Zorritos, Tumbes y Zarumilla. Boletín N° 54. Serie A. Carta Geológica Nacional. INGEMMET, Perú.
- Palme, H. y O'Neill, H.St.C. 2004. Cosmochemical estimates of mantle composition. En: *Treatise on Geochemistry*, vol. 2 (eds. H.D. Holland y K.K. Turekian). Elsevier Pergamon, San Diego, p. 1-38.
- Pearce, J.A., Harris, N.J. y Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Sánchez, J., Carlotto, V., Díaz-Martínez, E., y Chacaltana, C. 2006a. Estratigrafía y sedimentología del Paleozoico superior de la Quebrada Gramadal, Cerros de Amotape, norte del Perú. XIII Congreso Peruano de Geología, Lima. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial no. 7, p. 570-573.
- Sánchez, J., Palacios, O., Feininger, T., Carlotto, V. y Quispesivana, L. 2006b. Puesta en evidencia de granitoides triásicos en Los Amotapes-Tahuín: Deflexión de Huancabamba. XIII Congreso Peruano de Geología, Lima. Resúmenes extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial no. 7, p. 312-315.
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Néraudeau, D., Cárdenas, J., Rosas, S. y Jiménez, N. 2002. Late Permian-Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*, 345, p. 153-181.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, p. 325-343.