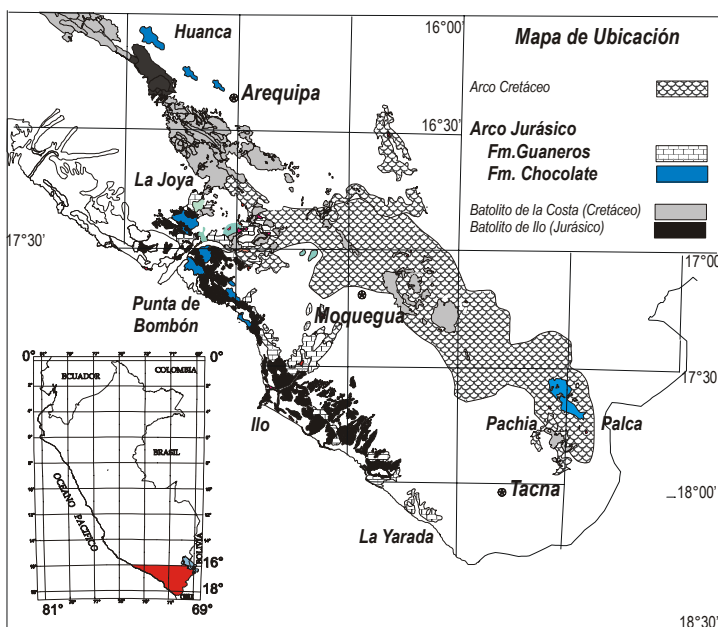


# EL ARCO MAGMATICO PERMO-JURASICO EN EL SUR DE PERU (AREQUIPA-TACNA). NUEVOS DATOS GEOQUIMICOS Y ESTRATIGRAFICOS

William MARTINEZ, Darwin ROMERO  
John CERVANTES & Agapito SANCHEZ  
INGEMMET, Av. Canadá 1470, Lima 41, e-mail: [martinez@ingemmet.gob.pe](mailto:martinez@ingemmet.gob.pe)

## INTRODUCCION

Con el propósito de contribuir a precisar la posición estratigráfica y los rasgos geoquímicos, este trabajo presenta nuevos datos de las unidades volcano-sedimentarias de edad Jurásica que se encuentran a lo largo de la faja costanera entre Punta de Bombón-La Yarada y la pre-cordillera occidental entre Arequipa y Tacna (Fig. 1). Para ello se ha medido columnas litoestratigráficas, datos estructurales y se han analizado 387 muestras de las formaciones Chocolate, Guaneros e intrusivos asociados.



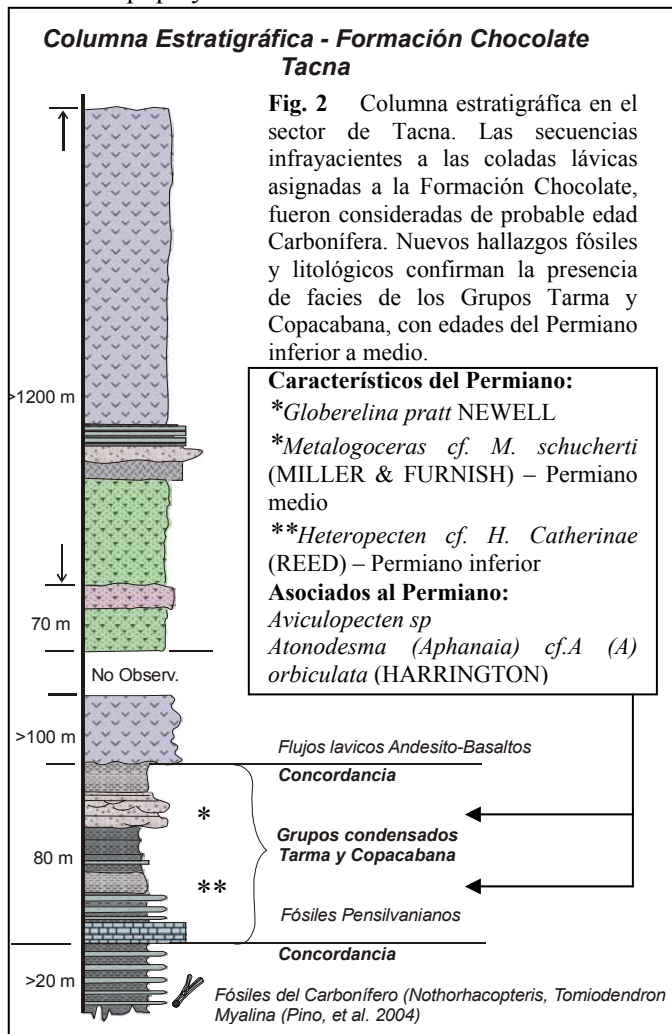
## EL CONOCIMIENTO ACTUAL

Para el sur peruano (Arequipa-Tacna) toda la secuencia jurásica está agrupada en las formaciones Chocolate (Jenks, 1948) y Guaneros (Bellido & Guevara, 1963). *La primera unidad (Chocolate)* fue descrita en Arequipa en las canteras Chocolate, como secuencias de lavas y calizas del Jurásico inferior (Liásico) o el Sinemuriano (Vargas, 1970; Vicente, 1981). La base es discordante sobre el Complejo Basal de la Costa (CBC) y sin datación. Estudios recientes consideran que las facies volcánicas iniciales aflorantes en Tacna, puedan corresponder a edades Carboníferas (Pino, et al, 2004; Sempere, et al.

2002,2004), ya que descansan sobre el Grupo Ambo. Estas ideas se basan en que no existe una discontinuidad tectónica que fueron observadas en varios sectores (Punta de Bombón, Palca y Pocoma). Actualmente y basándose en nuevos hallazgos lito-bioestratigráficos, la base de esta unidad sería de edad Permiano medio ya que se encuentra conformes sobre los grupos condensados Tarma-Copacabana.

*La segunda unidad (Guaneros)*, fue descrita en Clesesi (Bellido & Guevara, 1963), compuesta de areniscas, calizas, limolitas (inferior) y lavas e ignimbritas (superior). Su edad va del Bajociano al Calloviano. La Formación Guaneros se encuentra en la faja costanera entre Punta de Bombón y La Yarada. Al norte del área de estudio (Ica), han sido descritas unidades similares como formaciones Chala y Río Grande (Ruegg, 1956; Olchowsky, 1980; Romeuf, et al, 1993-1995; Sempere, et al, 2002), con un intervalo de tiempo entre el Aaleniano y Tithoniano, siendo estas unidades descritas posteriormente como Formación Guaneros (León & Palacios, 2001; Díaz, et al, 2001). Entre Ilo y la Yarada se realizaron estudios paleomagnéticos (Roperch & Carlier, 1992), considerándola como Formación Chocolate, actualmente se ha comprobado que pertenecen a la Formación Guaneros, basados en litoestratigrafía, y fósiles característicos hallados (Martínez et al, 2004). Datos geoquímicos y radiométricos aislados, fueron trabajados anteriormente en Ilo y la Yarada (Romeuf, 1993-1995 y Boily et al, 1990) como parte de tesis doctorales. En resumen la Formación Chocolate cartografiada en la costa sur de Perú por lo menos entre Ilo y la Yarada no existiría, siendo en realidad

parte de la Formación Guaneros. Esta Unidad al parecer estaría solo restringida a la pre-cordillera entre Arequipa y Tacna.



## FORMACIÓN CHOCOLATE

Hasta el año 2002, esta unidad ha sido considerada dentro del Jurásico (Vargas, 1970; Vicente, 1981-1982; Salinas, 1987), pero fuertes argumentos tectono-estratigráficos coinciden en que esta unidad ya era una entidad magmática importante por lo menos desde el Carbonífero (Sempere, et al. 2002, 2004; Pino, et al, 2004) y asociado a un estiramiento litosférico que afecto a la margen del sur de Perú. Los argumentos propuestos se basan en que sobreyace concordante sobre facies sedimentarias del Grupo Ambo, que fueron descubiertas en Mal Paso – Tacna (Pino et al, 2004), Pocoma (Sempere, conv. pers.) y Punta de Bombón (Martínez et al. inédito). Esto sugiere que *no existe un hiatus*, entre el Carbonífero y las primeras coladas volcánicas andesita-basálticas (Fig.2). Por otro lado en Tacna (Palca-Huanuane-Mal Paso) esta compuesta por piroclastitas, lavas almohadilladas (pillow) y facies sedimentarias marinas, que sugieren un sistema tipo “Rift”.

**a) Sector de Arequipa.-** Aguas abajo del poblado de Murco cerca a Huanca, se observaron flujos lávicos, y piroclastitas discordantes sobre el CBC. Corresponden a riolitas, traqui-andesitas basálticas y

andesitas/dacitas, culminando en carbonatos de edad Sinemuriana.

**b) Sector Punta de Bombón.-** Las secuencias basales descansan conformes sobre areniscas cuarzosas de edad Devoniana (Grupo Cabanillas – Hda. Chucarapi). Corresponde a basaltos y andesitas basálticas, asociados a cuerpos subvolcánicos de composición traqui-andesitas y andesitas.

**c) Sector de Tacna.-** Entre Palca y Huanuane, las secuencias basales comienzan con flujos lávicos de andesitas basálticas y piroclastitas, terminando en lavas almohadilladas. Los niveles superiores son selladas por “Chert” y calcáreos con fósiles de edad Sinemuriana (obsérvese la similitud con la sección de Arequipa).

Pino et al, 2004 y Sempere et al, 2004 prefieren usar el termino “Formación Junerata” (Wilson & García, 1962) para el sector de Tacna, basándose en que sus facies son diferentes a aquellas de Arequipa

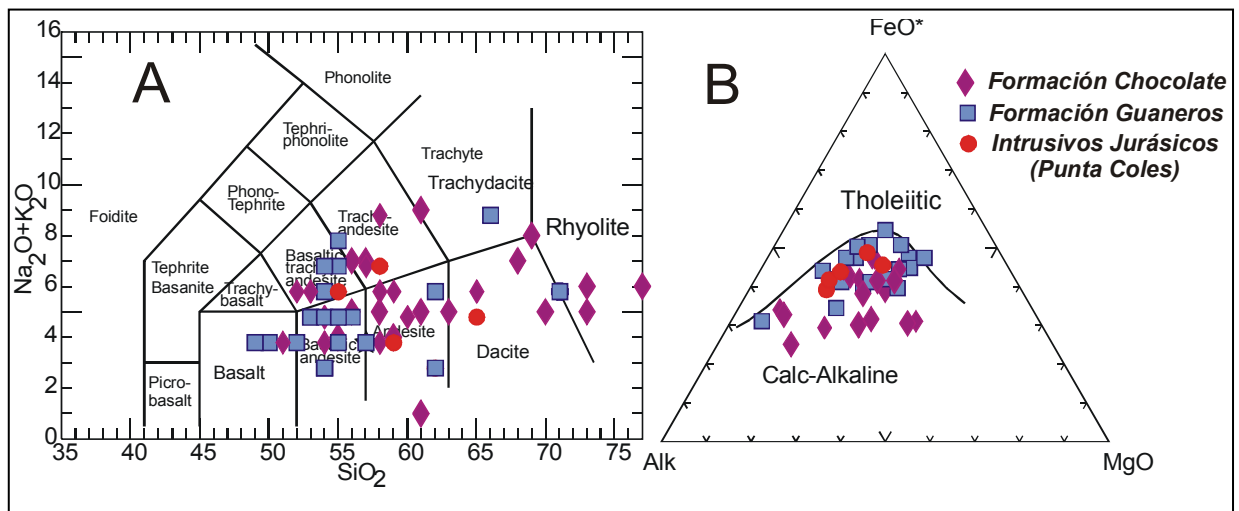
## RELACION ESTRATIGRAFICA DE LA FORMACIÓN CHOCOLATE CON LOS GRUPOS TARMA Y COPACABANA

Las unidades Tarma y Copacabana fue diferenciada en el sector de Mal Paso (Tacna), anteriormente toda la sección fue asignada al Grupo Ambo (Pino et al, 2004; Sempere et al, 2004), cuyas características litológicas y de fósiles marinos y terrestres (plantas), correspondían a edades carboníferas. Los fósiles marinos asignados a edades devonianas (Monge & Cervantes, 2000) encontradas en calizas en realidad tenían amplios rangos de edad. Un nuevo estudio biolitoestratigráfico muestra una variedad de fósiles característicos del Permiano inferior a medio, lo cual hace pensar en la presencia de secciones condensadas de los grupos Tarma-Copacabana, concordante

sobre el Grupo Ambo e infrayacente a las primeras coladas andesita-basáltica de la Formación Chocolate (Fig. 2). Como consecuencia, la edad mínima de la Formación Chocolate para la región, no sería mas antigua que el Permiano medio, y estaría de acuerdo con un incipiente sistema de Rift, e iniciando una anomalía térmica (Sempere et al, 2002-2004), con adelgazamiento de corteza y creando los primeros eventos magmáticos que dieron origen al Grupo Mitu.

## LITOLOGÍA Y GEOQUÍMICA

Nuevos datos petrográficos y geoquímicos de las unidades Permo-Jurásicas (Chocolate-Guaneros) han sido tomadas y estudiadas a lo largo de la pre-cordillera: Arequipa y Tacna, así como la faja costanera: Punta de Bombón-La Yarada. Se tomaron 387 muestras de rocas, para análisis geoquímicos entre mayores y trazas. Los primeros resultados indican que los productos volcánicos fueron creados en un *sistema de Arco Insular*, originado posiblemente desde el Permiano medio hasta el Jurásico medio, y corresponde mayormente a una gama entre basaltos y riolitas calco-alcalinas (Fig. 3 A-B).

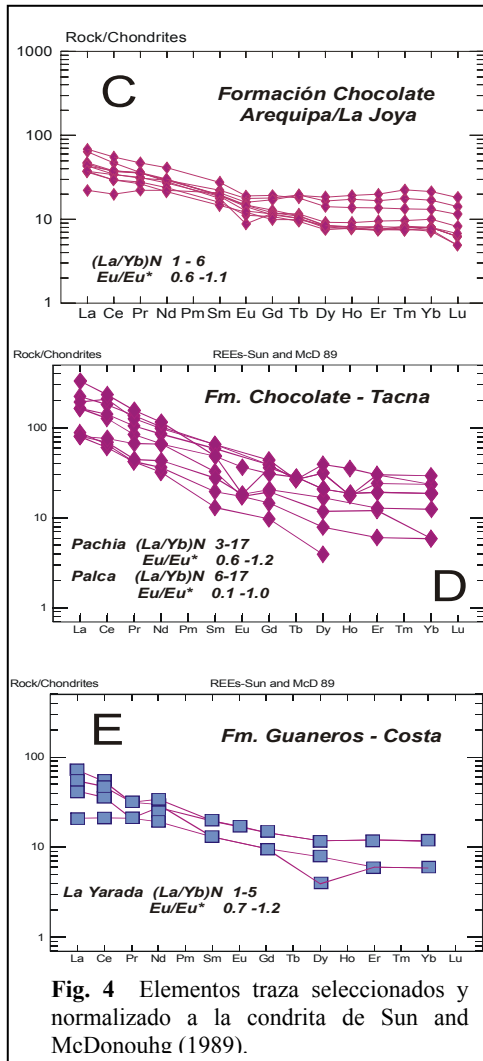


### FORMACIÓN CHOCOLATE

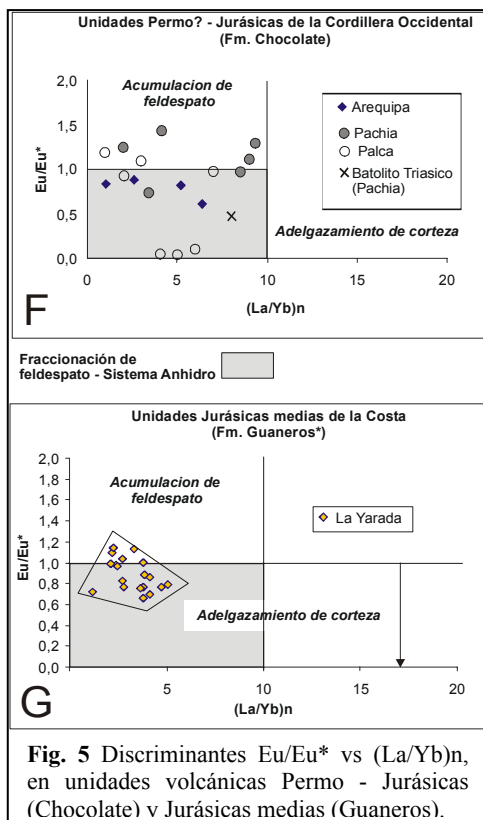
En el sector oriental las unidades Permo-Jurásicas ocurren entre Arequipa y Tacna. Las facies volcánicas de Tacna son de posible edad permiano medio, sugiriendo que sean equivalentes a las facies aflorantes en Arequipa.

**a) Sector de Arequipa.-** Secuencias volcánicas se tomaron en el río Sihuas, cerca de la localidad de Murco, encontrándose discordante sobre el CBC. Litológicamente son tobas con fragmentos de cristales, matriz criptocristalina y de composición calco-alcalina. Los minerales máficos están ausentes. Las tierras raras (REE) muestran buena correlación, con baja pendiente de fraccionación ( $La/Ybn = 1-6$ ). Las REE pesadas (HREE), indican la no participación de granate en la fuente principal con un sistema de corteza sin engrosamiento (Fig. 4 C). La anomalía de Eu sugiere la fraccionación de feldespato en la fuente. La relación  $Eu/Eu^*$  vs  $(La/Yb)_n$ , muestra cristalización de feldespatos en un sistema anhidro ( $Eu/Eu^* < 1$ ) y baja oxidación (Fig. 5 A).

**b) Sector de Tacna (Pachia y Palca).-** Litológicamente corresponden a flujos lávicos, ignimbritas y sedimentitas silicificadas. Las secuencias empiezan con lavas grises, vacuolas de carbonatos y ópalo. Comienzan con estructuras almohadilladas mal conservadas, ignimbritas soldadas, areniscas, conglomerados y terminan en lavas almohadilladas bien conservadas con niveles de hialoclastitas. Sobreyace a facies sedimentaria condensadas de los grupos Tarma y Copacabana e infrayace a la Formación Pelado de edad Sinemuriana. Geoquímicamente corresponden a andesitas basálticas, andesitas, dacitas y riolitas. Los elementos traza (Fig. 4 D) muestran un fuerte incremento de LREE frente al HREE ( $La/Ybn = 3-17$ ). Los valores de  $Eu/Eu^*$  (0.1-1.0) indica fuerte fraccionamiento de feldespatos en medios anhidros y de baja oxidación (Fig. 5 F).



**Fig. 4** Elementos traza seleccionados y normalizado a la condrita de Sun and McDonouhg (1989).



**Fig. 5** Discriminantes  $Eu/Eu^*$  vs  $(La/Yb)_n$ , en unidades volcánicas Permo - Jurásicas (Chocolate) v Jurásicas medias (Guaneros).

## FORMACIÓN GUANEROS

En la cadena costanera las unidades del Jurásico medio se localizan entre Ilo y La Yarada, anteriormente algunos de estos afloramientos eran asignadas a la Formación Chocolate (Narváez, 1964; Jaén & Ortiz, 1963)

**a) Sector de Ilo – La Yarada.-** Son flujos lávicos, brechas y piroclásticos, intercalados con areniscas fosilíferas de edad Calloviana. Corresponden a basaltos y andesitas basálticas calco-alcalinas con presencia de piroxenos y olivino. Los elementos de REE (Fig. 4 E) muestran valores bajos ( $La/Ybn = 1-5$ ), y alta fraccionación en feldespatos ( $Eu/Eu^* = 0.7-1.2$ ). En general representan sistemas de baja oxidación con menores acumulaciones de feldespatos y anfíbol (Fig. 5G). Los datos sugieren una firma mas cercana con el manto y un estiramiento cortical mayor que en el Permo-Jurásico.

## CONCLUSIONES E INTERPRETACIONES

La Formación Chocolate entre Arequipa y Tacna corresponden a facies volcánicas calcoalcalinas de basaltos y andesitas basálticas con fuerte fraccionamiento. Se genero en un marco de subducción, producto de un estiramiento litosferico que origino debilidad cortical con producción de ignimbritas y pillow lavas.

Las coladas basales de la Formación Chocolate, ya no podría corresponder a una edad carbonífera. De acuerdo a los datos paleontológicos hallados en Tacna, la edad mínima sería del Permiano medio. Los últimos eventos volcánicos abarcarían hasta el Jurásico inferior (Sinemuriano).

Las facies entre Arequipa y Tacna sugieren que son equivalentes. La Formación Pelado sobreyacente (en Tacna) corresponden a las facies carbonatadas finales como los de Arequipa.

La Formación Chocolate en realidad corresponde a las primeros eventos magmáticos del futuro Rift Permiano que se desarrollo en gran extensión a lo largo del centro de Perú. Corresponde probablemente a una anomalía geotérmica o un punto caliente (hotspot) inicial (permiano inferior?), que desarrollo un adelgazamiento cortical, y que se desarrollo con mayor extensión en el Permiano superior (Grupo Mito e intrusivos asociados).

La Formación Guaneros se acumulo posteriormente (Jurásico medio) en un marco mayor de adelgazamiento cortical (basaltos, andesitas basálticas e ignimbritas), las relaciones petrográficas (piroxenos y olivinos) y los rasgos geoquímicos ( $La/Ybn = 1-5$ ) sugieren estas ideas. Esta unidad representaría un típico ejemplo de Arco insular, con facies de lavas, sedimentos marinos y flujos piroclásticos terminales. Finaliza con el cierre de la

cuenca marina y la producción de un magmatismo calco-alcalino continental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellido, E & Guevara, C. (1963).** Geología de los cuadrángulos de Punta de Bombón y Clemesi. Carta Geológica Nacional. No. 5. 92 pp.
- Boily, M., Ludden, J.N. & Brooks, C. (1990).** Geochemical constraints on the magmatic evolution of the pre- and post-Oligocene volcanic suites of southern Peru: implications for the tectonic evolution of the central volcanic zone. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 102(11). pp. 1565-1579.
- Díaz, G. (2001).** Geología del cuadrángulo de Chala. Mapas actualizados de la Carta Geológica Nacional. Versión 2002
- Jaén, H. & Ortiz, G. (1963).** Geología de los cuadrángulos de La Yarada y Tacna. Comisión Carta Geológica Nacional. No. 6. 59. pp
- Jenks, W. (1948).** Geología de la Hoja de Arequipa, al 1/200.000. boletín del Instituto Geológico del Perú No. 9. 104 pp.
- León, W. y Palacios O. (2001).** Geología del cuadrángulo de Palpa. Mapas actualizados de la Carta Geológica Nacional. Versión 2002
- Martínez, W., Romero, D. y Cervantes, J. (2004).** El Jurásico Medio en el sur de Perú: Nuevos datos estratigráficos y geoquímicos en el Estratotipo de la Formación Guaneros, Clemesi. En XII Congreso Geológico Peruano. pp. 193-196
- Monge, R. y Cervantes, J. (2000).** Geología del cuadrángulo de Pachia y Palca. Mapas actualizados de la Carta Geológica Nacional. Versión 2001.
- Narváez, S. (1964).** Geología de los cuadrángulos de Ilo y Locumba. Comisión Carta Geológica Nacional. No. 7. 74. pp.
- Olchausky, E (1980).** Geología de los cuadrángulos de Jaqui y Coracora, Chala y Chaparra. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. No. 34. 71 pp.
- Pino, A. Sempere, T., Jacay, J y Fornari, M. (2004).** Estratigrafía, Paleogeografía y Paleotectónica del intervalo Paleozoico superior – Cretáceo inferior, en el área de Mal Paso – Palca (Tacna). Sociedad Geológica del Perú. Publicación especial. No. 5. pp.15-44
- Romeuf, N. Aguirre, L., Carlier, G., Soler, P., Bonhomme, M., Elmi, S y Salas G. (1993).** Present knowledge of the Jurassic volcanogenic formations of the southern coastal Peru. II International Symposium on Andean Geodynamics, Oxford. pp. 437-440
- Romeuf, N., Aguirre, L., Soler, P., Feraud, G., Jaillard, E. y Ruffet, G. . (1995).** Middle Jurassic volcanism in the Northern and Central Andes. *Revista Geológica de Chile*. No. 22. pp. 245-259
- Roperch, P. y Carlier, G. (1992).** Paleomagnetism of Mesozoic Rocks from the Central Andes of Southern Peru: importance of rotations in the development of the Bolivian Orocline. *Journal of Geophysical Research*. No. 97. (B12). pp. 17233-17249
- Ruegg, W. (1956).** Geologie zwischen Cañete und San Juan, 13°00'S-15°24'S. Sud Peru. *Geologische Rundschau*. No. 45. pp. 775-858
- Salinas, E. (1987).** Evolucion Paleogeografica del Sur de Peru a la Luz de los Métodos de Análisis Sedimentológicos de las Series de Tacna. Tesis de Grado. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman. Tacna
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Neraudeau, D., Cardenas, G., Rosas, S. Y Jiménez, N. (2002).** Late-Permian-Middle Jurassic Lithospheric Thinning in Peru and Bolivia, and its Bearing on Andean-age Tectonics. *Tectonophysics*, No. 345. pp. 153-181
- Sempere, T. Jacay, J., Pino, A., Bertrand, H., Carlotto, V., Fornari, M., Garcia, R., Jimenez, N., Marzoli, A., Meyer, C., Rosas, S. y Soler, P. (2004).** Estiramiento litosférico del Paleozoico superior al Cretáceo Medio, en el Perú y Bolivia. Sociedad Geológica del Perú. Publicación especial. No. 5. pp. 45-79
- Vargas, L (1970).** Geología del cuadrángulo de Arequipa. Servicio de Geología y Minería. No. 24. 64 pp.
- Vicente, J.C. (1981).** Elementos de la estratigrafía mesozoica sur peruana. In. Volkheimer, W., Mussachio, E.A. (Eds), Cuencas sedimentarias del Jurásico y cretácico de América del Sur. Vol. 1. omite Sudamericano del Jurásico y Cretácico. Buenos Aires. pp. 319-351
- Vicente, J.C., Beaudoin, B., Chavez, A. y León, I. (1982).** La cuenca de Arequipa (Sur Perú), durante el Jurásico-Cretácico inferior. V Congreso Latinoamericano de Geología. No. 1. pp. 121-153.
- Wilson, J & García, W. (1962).** Geología de los cuadrángulos de Pachia y Palca. Com. Carta. Geol. Nac.. No. 4. 64 pp.