



Características geoquímicas del volcanismo cenozoico (Grupo Calipuy) en el cuadrángulo Santiago de Chuco, norte del Perú

Lisenia Chávez, Pedro Navarro, y Mirian Mamani

INGEMMET, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, Perú (lchavez@ingemmet.gob.pe)

1. Introducción

El área de estudio forma parte de la Cordillera Occidental de los Andes en el Norte del Perú, entre las provincias de Julcan y Santiago de Chuco en el departamento de La Libertad, correspondiente al cuadrángulo de Santiago de Chuco (17g). En este sector afloran extensas secuencias de rocas volcánicas denominadas como "Grupo Calipuy" que se emplazaron entre el Eoceno al Mioceno (Cossío, 1964; Rivera et al., 2005; Navarro et al., 2010). Para el desarrollo del trabajo se han tomado muestras para análisis químico en rocas volcánicas y subvolcánicas, tanto en centros volcánicos como en sus productos, secuencias volcánicas agrupadas en tres arcos magmáticos: Pativilca (43-30 Ma), Calamarca (30-24 Ma) y Calipuy (24-10 Ma); este último subdividido en dos subarcos: Michiquillay (24-18 Ma) y Uromalqui (18-13 Ma) (Chavez et al., 2010). De esta manera, tomando como base el cartografiado de los centros volcánicos, los datos de geocronología y las interpretaciones geoquímicas de los elementos mayores y elementos traza, se ha podido determinar la fuente y evolución magmática, así como las variaciones geoquímicas al detalle de las rocas volcánicas del Grupo Calipuy, reunidas en arcos y trasarcos magmáticos que forman parte de la corteza continental que dio origen a los aparatos volcánicos ya erosionados (Mamani et al., 2010); así mismo, se podrá entender la relación entre el engrosamiento cortical y sus implicancias con la formación de los yacimientos minerales.

2. Contexto geológico regional

Las rocas volcánicas del Grupo Calipuy se encuentran cubriendo en discordancia angular al basamento Jurásico-

Cretácico constituido por rocas sedimentarias, que afloran al este de la zona de estudio (Fig. 1) y corresponden a unidades clásticas, silicoclásticas y carbonatadas correspondientes a los grupos Chicama y Goyllarisquizga, y las formaciones Inca, Chúlec y Pariatambo; hacia el sur y suroeste sobreyacen de igual manera a secuencias volcánicas y volcano-sedimentarias del Grupo Casma y de la Formación Tablachaca (Cerpa et al., 2008).

3. Volcanismo y geocronología

Las rocas volcánicas y subvolcánicas del Grupo Calipuy (Cenozoico) corresponden a los siguientes arcos magmáticos (Fig. 1):

3.1. Arco magmático Pativilca (43-30 Ma)

Representan las primeras actividades volcánicas máficas que corresponden al centro volcánico San Pedro y a la secuencia volcánica Pachachaca (~39-36 Ma), que evolucionan a félsicas con la caldera Carabamba (~35-34 Ma).

Al este del arco principal, existió un magmatismo de trasarco, evidenciado por dos muestras de domos andesíticos (35.2 Ma) que se encuentran cortando a la formación Tablachaca.

3.2. Arco magmático Calamarca (30-24 Ma)

Se inició este volcanismo con una mayor actividad, atestiguada con los grandes volúmenes de piroclastos emitidos por la caldera Calamarca-Toritos (~30-26 Ma).

3.3. Arco magmático Calipuy (24-10 Ma)

Una diferencia con respecto a los volúmenes de los piroclastos emitidos conduce a subdividir el período en dos subarcos magmáticos, Michiquillay y Uromalqui.

3.3.1. Subarco Michiquillay (24-18 Ma)

Durante este periodo se produjeron nuevamente grandes volúmenes de piroclastos, emitidos por los centros volcánicos Caupar (24.6 Ma), Cururupa-Alto Dorado (23.7-18.5 Ma), Quesquenda (23-19.5 Ma), Totor

I (~24-22 Ma), Totor II (20.6-18 Ma) y Quiruvilca (24.2-19.8 Ma). Los domos del subarco Michiquillay (24-18 Ma) se formaron también durante este periodo.

3.3.2. Subarco Uromalqui (18-13 Ma)

Los productos emitidos fueron muy reducidos y afloran próximos a sus centros de emisión como por ejemplo Uromalqui I y II (18.7-16.7 Ma) y los domos del subarco Uromalqui (~18-13.7 Ma). Son de naturaleza intermedia a básica, por tanto muestran características geoquímicas peculiares.

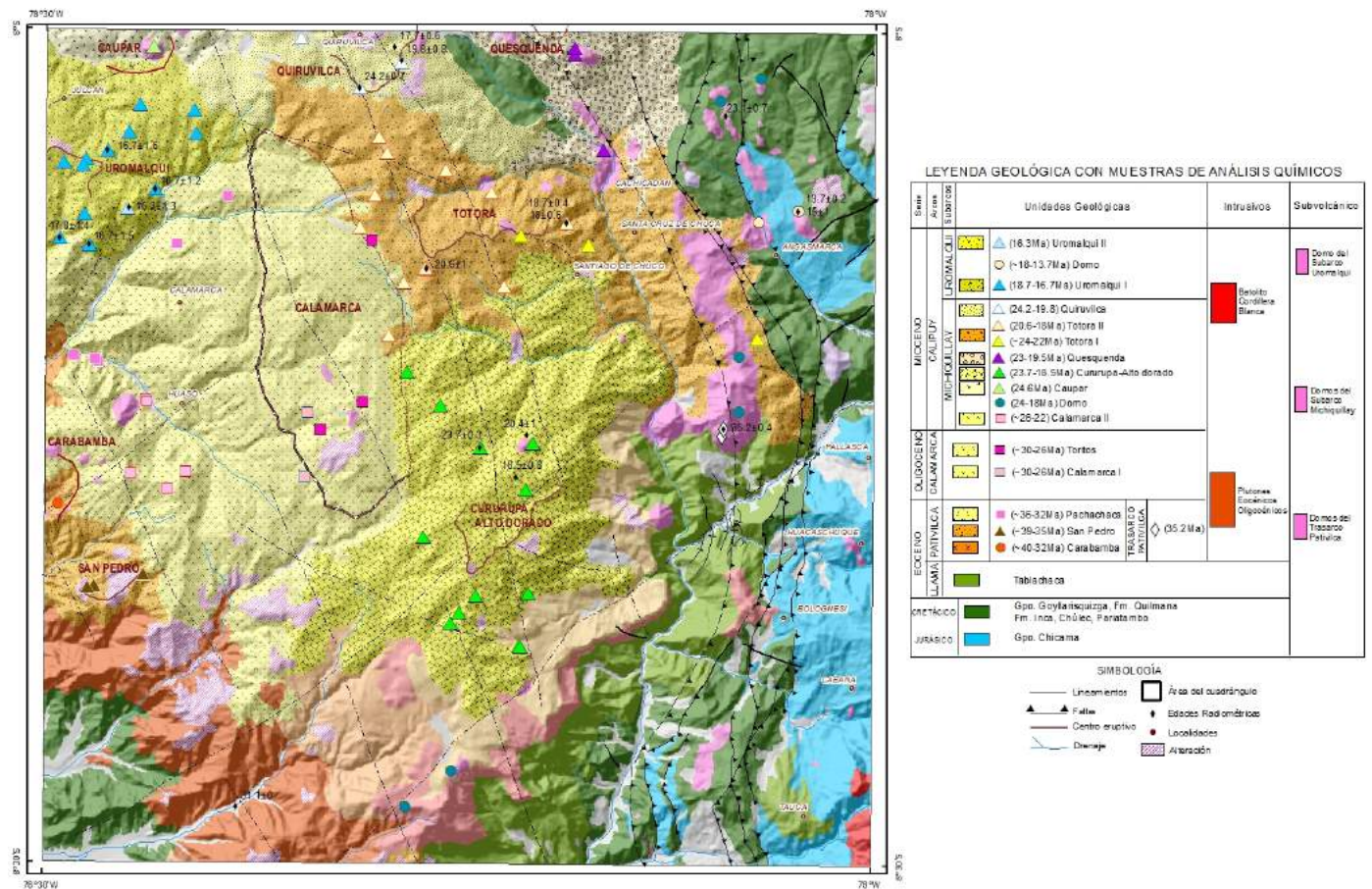


Figura 1. Mapa geológico de los centros volcánicos cenozoicos, y ubicación de muestras de análisis químicos.

4. Geoquímica

Para el análisis geoquímico se han procesado 81 muestras con reportes de elementos mayores y elementos trazas que corresponden a afloramientos de lavas, piroclastos y domos. Los elementos mayores han sido analizados por Laboratorio de Química del INGEMMET mediante el método de absorción atómica por flama total. Los análisis por elementos traza han sido realizados en el Laboratorio de SGS en Canadá, por ICMS90 y por Fluorescencia de Rayos X.

Las rocas volcánicas y subvolcánicas corresponden en su mayoría a la serie magmática calcoalcalina. Presentan una composición intermedia a ácida (andesitas basálticas, traquiandesitas, andesitas, dacitas, riolitas). El contenido de potasio es de bajo a medio y aumenta conforme a la diferenciación de rocas ácidas a intermedias (Fig. 2A).

Los diagramas de los cocientes de los elementos trazas como Sr/Y y Sm/Y sugieren fraccionación y/o cristalización de minerales residuales como granate, clinopiroxeno y anfíbol (Mamani et al., 2010). En base a estas variaciones, la fraccionación de clinopiroxeno se dio en las rocas del arco Pativilca, arco Calamarca, Calamarca II y Uromalqui I. La fraccionación de anfíbol se dio en las rocas del trasarco Pativilca, subarco Michiquillay, Totor I y Uromalqui II.

Muchos de los depósitos minerales están relacionados a rocas del tipo adakita (Thieblémont et al., 1997). Para diferenciar los magmas con signature de tipo adakita se usó el diagrama de Sr/Y versus Y (Fig. 2B). Las muestras del arco Pativilca y una muestra de Uromalqui I plotean en el campo de las rocas calcoalcalinas (Sr/Y < 20). El grupo de muestras del arco Calamarca, y varias muestras de Totor I, Uromalqui I y Calamarca II plotean en la zona de transición entre el campo de rocas calcoalcalinas y

adakititas ($Sr/Y = 20-40$). se tienen Las muestras del trasarco Pativilca, arco Calipuy y Uromalqui II plotean dentro del campo de adakititas ($Sr/Y > 40$). Este incremento de los cocientes sugiere una fraccionación de minerales residuales como clinopiroxeno y anfíbol.

Para identificar la zona de asimilación y el nivel de emplazamiento de las cámaras magmáticas, se usó el modelo de las variaciones de los cocientes de Sr/Y versus Sm/Yb . En este diagrama (Fig. 3A), las rocas de los arcos Pativilca, Calamarca, Uromalqui I y Calamarca II tienen

ratios $Sm/Yb < 2$, indicando que tienen como mineral residual al clinopiroxeno, que además indica baja presión y menor espesor cortical, implicando una asimilación en cámaras magmáticas más someras. Las rocas del trasarco Pativilca y arco Calipuy presentan ratios de $Sm/Yb = 2-4$. Las muestras corresponden al rango del anfíbol de que indica moderada presión y mayor espesor cortical, indicando que la asimilación de las cámaras magmáticas ocurrió más en profundidad.

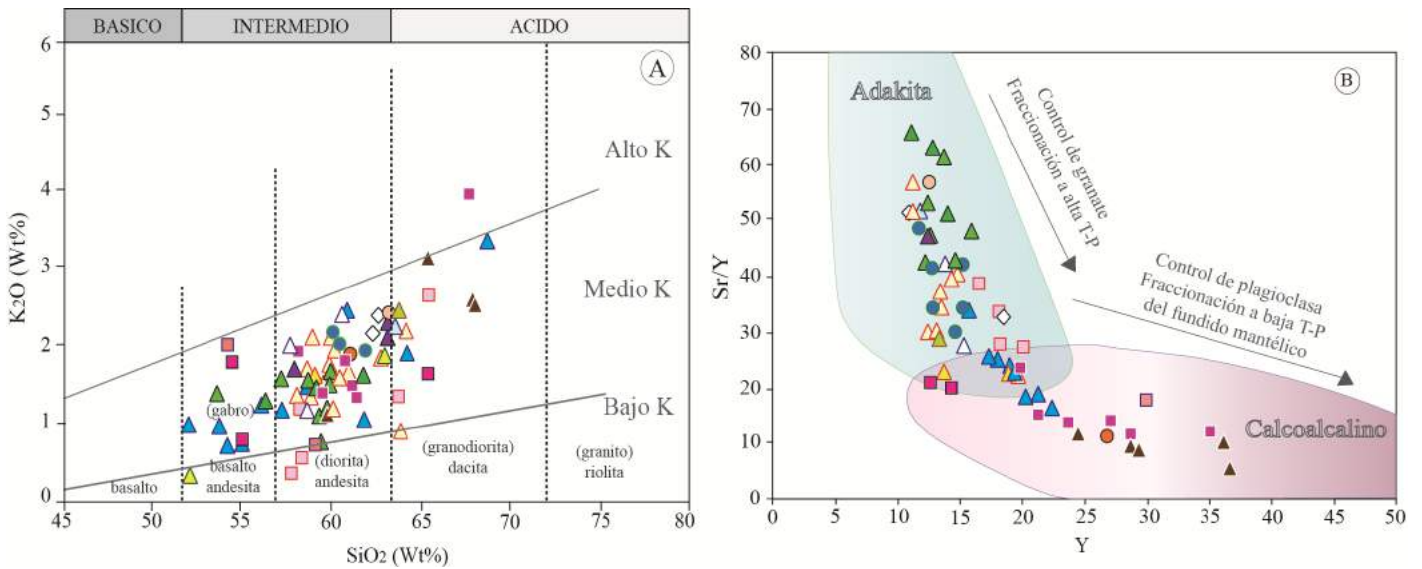


Figura 2. (A) Diagrama binario para distinguir el tipo de roca volcánica y serie magmática. Los contenidos de óxidos están recalculados al 100% y libre de volátiles. (B) Diagrama para distinguir adakititas en base a los cocientes de Sr/Y versus concentración de Y.

Se considera que la evolución temporal del contenido de agua en el sistema de magmas se puede reconstruir usando el cociente Eu/Eu^* , los valores > 1 correspondiendo a magmas secos y los < 1 a magmas hidratados. La fraccionación de los magmas parentales se estima mediante un diagrama de Eu/Eu^* versus Sr/Y (Fig. 3B). Este diagrama discrimina la fraccionación de la plagioclasa para las rocas del arco Pativilca y la fraccionación de la hornblenda para las rocas del trasarco Pativilca, arco Calamarca y arco Calipuy. Por lo tanto la mayoría de las rocas volcánicas corresponden a magmas hidratados, indicando que estas rocas son favorables para la mineralización, excepto algunas rocas de Cururupa, Alto Dorado y Calamarca II, que corresponden a magmas secos.

En cuanto al espesor de la corteza continental, se observa (Fig. 3C) un cambio desde el Eoceno superior al Mioceno medio, que se demuestra en las variaciones de los cocientes de Sr/Y con el tiempo. Para el periodo de formación del arco Llama (55-42 Ma), sólo existen datos de la Formación volcanosedimentaria Tablachaca (Eoceno inferior), que evidencian que la corteza era relativamente delgada en esta época (Chávez et al., 2010). A inicios de la formación del arco Pativilca (Eoceno superior) se experimentó un débil o incipiente engrosamiento cortical que se mantuvo hasta el arco Calamarca (Oligoceno), siendo coetáneo de los flujos de lavas de andesita basáltica a andesita de San Pedro, Pachachaca y Carabamba. La evolución prosiguió con la actividad efusiva de la caldera Calamarca-Toritos, en relación con

las zonas de alteración de San Pedro (Au, Cu) y Oyón (Au), y coincidiendo con un régimen de baja convergencia (Davies, 2002; Noble & McKee, 1999). El inicio del incremento de Sr/Y podría corresponder al primer episodio del engrosamiento cortical que puede haber ocurrido entre los 24 a 10 Ma, coincidiendo con los depósitos volcánicos correspondientes al arco Calipuy. El periodo de engrosamiento cortical coincide con los periodos de mineralización- alteración en Alto Dorado (Cu-Au), Tres Cruces (Au), Quiruvilca (Zn-Pb-Cu-Ag), Uromalqui (Au-Ag) y Huacarmacanga (Au).

La corteza en esta parte del Perú sería de composición granate-anfibolita, según el cálculo de balance de masas de fusión parcial de una corteza inferior (Mamani et al., 2010).

5. Discusión

El comportamiento de Las rocas del centro volcánico Uromalqui (18.7-16 Ma) presentan características geoquímicas (Fig. 2B, 3A) que indican una asimilación en cámaras magmáticas someras y sugieren un rápido ascenso del magma.

Existe un mayor emplazamiento de lavas máficas y como última fase de piroclastos andesíticos (este último agrupándolo en Uromalqui II, 16.3 Ma). Para que existiera un rápido emplazamiento del magma, debió existir estructuras que facilitaran su ascenso. También se

observa una similitud del comportamiento geoquímico de Calamarca II que probablemente pertenezca a facies volcánicas de Uromalqui I.

Las rocas de Cururupa–Alto Dorado presentan una signatura de adakita, que sugieren magmas favorables a mineralizaciones (Fig. 2B). También se observa mayores variaciones geoquímicas debido al incremento del espesor de la corteza en el Mioceno (Fig. 3C). En esta época ocurrió la mayor producción de piroclastos, probablemente en respuesta a la maduración termal de la corteza.

Existe otra variable que nos demuestra esta relación: el porcentaje de hornblenda en la roca volcánica comprueba la profundidad de asimilación a niveles donde la hornblenda estaba como mineral y/o residuo estable en el fundido.

Los domos andesíticos reportaron una edad Ar-Ar de 35.2 ± 0.4 Ma en biotita (Rivera et al., 2005). Geoquímicamente sus rocas presentan signaturas (Fig.2B, 3A) que indican una fraccionación de los minerales a una moderada presión y temperatura probablemente con una asimilación de cámaras intermedias.

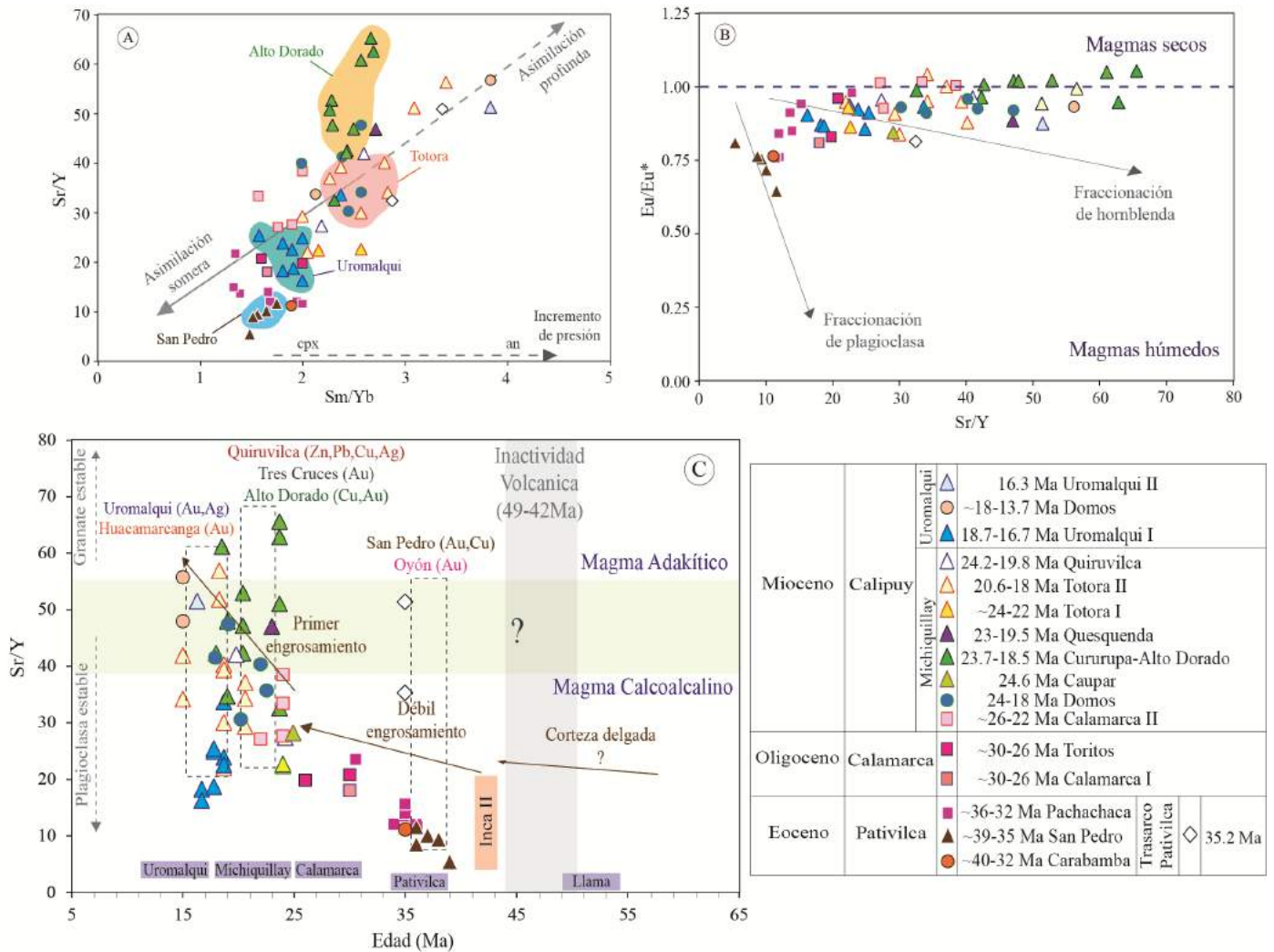


Figura 3. (A) Diagrama Sr/Y versus Sm/Yb, indicando la profundidad de asimilación del magma. (B) Anomalías de Eu/Eu* versus cocientes de Sr/Y. (C) Razones de Sr/Y versus las edades radiométricas de los aparatos volcánicos.

6. Conclusiones

Las rocas volcánicas del Eoceno, Oligoceno y Mioceno son rocas andesíticas a dacíticas, que evidencian un cambio en la composición, siendo mayormente máficas en las rocas más antiguas (arcos Pativilca y Calamarca) e intermedias en las más jóvenes (arco Calipuy) a excepción de Uromalqui I y Calamarca II. Los domos del Mioceno son de composición química intermedia.

El análisis de elementos trazas y tierras raras en relación con los datos geocronológicos indica que las rocas derivaron de magmas hidratados evolucionados a

niveles someros (en casos donde se fraccionaron plagioclasa y anfíbol) o más profundos (en casos donde se fraccionaron anfíbol y clinopiroxeno y algo de granate).

La mayor variación geoquímica se observa en las rocas de Cururupa–Alto Dorado (23.7-18.5 Ma), reflejando probablemente un incremento del espesor de la corteza en el Oligoceno superior – Mioceno Inferior. De acuerdo a esta característica los magmas demoraron en su ascenso y formaron cámaras magmáticas intermedias entre la corteza inferior y superior. Las rocas con signatura de adakita tienen edades entre 22 a 16 Ma (arco Calipuy). En esta época también se inició la mineralización, que

entonces tiene relación con el primer engrosamiento de la corteza: por ejemplo el yacimiento Quiruvilca (22-18 Ma), de origen mesotermal a epitermal (Kihien 1997).

En conjunto, las rocas antiguas (arcos Pativilca y Calamarca) se formaron en una corteza relativamente delgada, y las rocas más jóvenes (subarco Michiquillay) se formaron en una corteza intermedia a espesa. Existe una anomalía para el subarco Uromalqui que sugiere una corteza más delgada.

Referencias

- Cerpa, L., Carlotto, V., Navarro, P., Quispe, J., Romero, D. 2008. Sedimentación y tectónica en el área de Pallasca: la Formación Tablachaca. XIV Congreso Peruano de Geología & XIII Congreso Latinoamericano de Geología 13, Lima, Resúmenes, 6p.
- Chávez, L., Mamani, M., Navarro, P., Martiarena, R., Rodríguez, F. 2010. Variaciones geoquímicas y clasificación por arcos magmáticos de las rocas volcánicas del "Grupo Calipuy": Cajamarca, La Libertad y Ancash. XV Congreso Peruano de Geología, Cusco, Resúmenes, p. 916-920.
- Cossío, A. 1964. Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa. Boletín de la Comisión de la Carta Geológica Nacional, v. 8, 69 p.
- Davies, R. 2002. Tectonic, magmatic and metallogenic evolution of the Cajamarca mining district, northern Peru. Ph.D. dissertation, James Cook University, Australia, 323 p.
- Kihien, A. 1997. La franja de oro-cobre del Norte del Perú. IX Congreso Peruano de Geología, Lima, Resúmenes extendidos, p. 51-56.
- Mamani, M., Navarro, J., Carlotto, V., Acosta, H., Rodríguez, J., Jaimes, F., Santos, A., Rodríguez, R., Chávez, L., Cueva, E., Cereceda, I. 2010. Arcos magmáticos mesozoicos del Perú y su relación con ocurrencias metálicas. XV Congreso Peruano de Geología, Cusco, Resúmenes extendidos, p. 563-566.
- Navarro, P., Rivera, M., Monge, R. 2009. Nuevos aportes sobre el volcanismo cenozoico del Grupo Calipuy en La Libertad y Ancash: Geocronología y geoquímica. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 103, p. 215-232.
- Navarro, P., Rivera, M., Monge, R. 2010. Geología y metalogenia del Grupo Calipuy (volcanismo cenozoico), segmento Santiago de Chuco, Norte del Perú. Boletín del INGEMMET, Serie D: Estudios. Especiales, v. 3, 150 p.
- Noble, D.C., McKee, E.H. 1999. The Miocene metallogenic belt of central and northern Peru. In: Brian J. Skinner (ed.), *Geology and ore deposits of the Central Andes*, Society of Economic Geologists Special Publication, v. 7, p. 155-193.
- Rivera, M., Monge, R., Navarro, P. 2005. Nuevos datos sobre el volcanismo cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú: Departamentos de La Libertad y Ancash. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 99, p. 7-21.
- Thiéblemont, D., Stein, G., Lescuyer, J.-L. 1997. Gisements épithermaux et porphyriques: la connexion adakite. Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la Terre et des Planètes, v. 325, p. 103-109.