

RELACIÓN GEOQUÍMICA Y LAS ANOMALIAS BOUGUER PARA EL VOLCANISMO CENOZOICO (GRUPO CALIPUY) Y EL BATOLITO DE LA CORDILLERA BLANCA

Elizabeth Ordoñez, Lisenia Chavez, Pedro Navarro, Diana Pajuelo & Mirian Mamani

INGEMMET, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima-Perú, ordonez@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCION

Los estudios geológicos realizados en la zona Norte del Perú, a lo largo de la Cordillera Occidental de los Andes, donde se han reconocido extensas secuencias volcánicas emplazadas entre los 53 y 14 Ma (Eoceno - Mioceno) fueron denominadas como “Grupo Calipuy” (Cossío, 1964; Wilson, 1975; Farrar & Noble, 1976). Teniendo como referencia los trabajos desarrollados por el Proyecto GR-4: “Geología de las rocas volcánicas de la Cordillera Occidental del Norte del Perú”, desarrollado por la Dirección de Geología Regional en el INGEMMET, se ha considerado la división del “Grupo Calipuy” por segmentos volcánicos de acuerdo a su ubicación geográfica, con la finalidad de realizar una adecuada y sistemática investigación geológica; en el área de estudio están incluidos los segmentos de Norte a Sur como: Cajamarca, Santiago de Chuco y Cordillera Negra, ubicados en parte de los departamentos de Cajamarca, La Libertad y Ancash. Basándonos en la nueva cartografía geológica de los volcánicos del “Grupo Calipuy” donde se han identificado las estructuras volcánicas: centros volcánicos, calderas y domos (Rivera et al., 2005; Navarro et al., 2010); también considerando a las rocas intrusivas del Batolito de la Cordillera Blanca, que se desarrollaron durante la actividad magmática de los arcos Calipuy (24-10 Ma) y Negritos (10-3 Ma) en el Mioceno (Chavez et al., 2010) y estuvieron controlados en su mayoría por fallas regionales con rumbos de NO – SE (Fig. 1). En estudios geoquímicos de los depósitos volcánicos del “Grupo Calipuy” y las rocas intrusivas de la Cordillera Blanca agrupados en los arcos Calipuy y Negritos se muestran variaciones en el incremento de los cocientes de Sr/Y, Sm/Yb y La/Sm (Navarro et al., 2009; Chavez et al., 2010). Estas variaciones han sido atribuidas al engrosamiento de la corteza continental desde el Mioceno. Actualmente existen pocos estudios relacionados a los espesores de la corteza en el Norte del Perú, los primeros trabajos corresponden al de Fukao et al. (1999), basándose en datos geofísicos de gravimetría se ha generado un mapa de anomalías Bouguer y mencionan que estos resultados se pueden adecuar a espesores del MOHO. Haciendo la relación de anomalías Bouguer con los espesores corticales podemos sugerir que los valores más bajos de gravimetría (-439.914 mGal) corresponden a los espesores mayores de la corteza (~70 km) y los valores mayores en gravimetría (120.016 mGal) indicarían cortezas delgadas (~22 km) (Fig. 4). El presente trabajo confirma la relación entre las rocas volcánicas que presentan firmas del tipo Adakita ($Sr/Y > 70$) (Defant & Drummond, 1990) con el engrosamiento cortical en el Mioceno basándose en las anomalías gravimétricas de Bouguer. Hay que tener en cuenta que en este periodo de tiempo se formaron los principalmente yacimientos epitermales de alta y baja sulfuración asociados a estos depósitos volcánicos (Noble & McKee, 1999; Kihien, 1997).

MARCO GEOLOGICO

El substrato en el cual se emplazaron los volcánicos del Grupo Calipuy está constituido por intercalaciones de rocas sedimentarias, volcano-sedimentarias emplazadas entre el Jurásico superior, Cretáceo y Paleoceno. Estas secuencias presentan pliegues abiertos y volcados, así como fallas inversas y normales. La estratigrafía basada en el cartografiado geológico y volcanológico (Navarro et al., 2010), permite establecer una adecuada correlación estratigráfica y la evolución del volcanismo a partir del Eoceno superior al Mioceno inferior donde ocurrieron numerosos episodios efusivos, explosivos y extrusivos generados por el emplazamiento de diferentes arcos magmáticos, en un lapso aproximado de 30 Ma, los cuales originaron diversos depósitos volcánicos y por tanto la edificación y destrucción de paleocentros eruptivos (Rivera et al., 2005; Navarro et al., 2010), depositando principalmente flujos de lava y flujos piroclásticos con características petrológicas variadas.

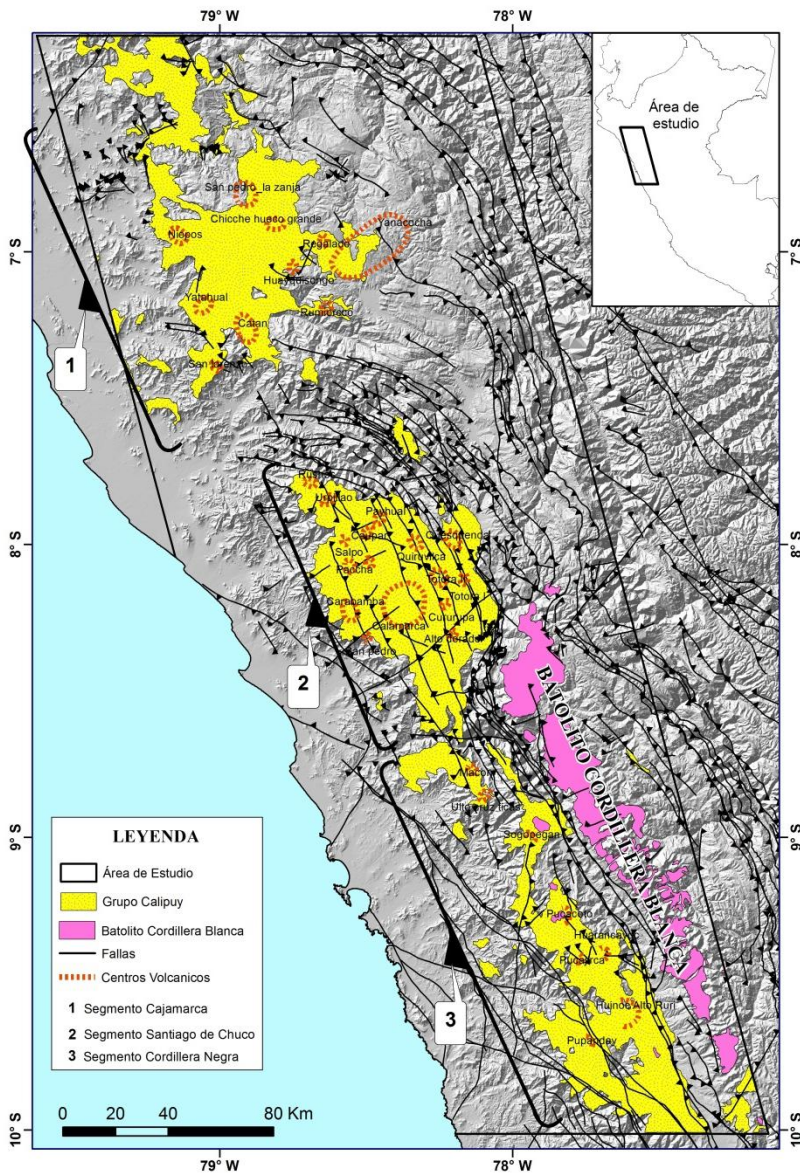


Figura 1: Mapa de ubicación de los centros eruptivos del volcanismo Cenozoico y las rocas intrusivas de la Cordillera Blanca. Mostrando los principales sistemas de fallas regionales que controlan el emplazamiento del volcanismo.

RELACIÓN ENTRE LA GEOQUÍMICA Y LAS ANOMALÍAS BOUGUER

Según Mamani (et. al, 2012), las rocas volcánicas e intrusivas corresponden a diferentes arcos magmáticos, por ejemplo: el arco Calipuy (24 – 10 Ma) están conformadas por lavas de composición andesitas basálticas, andesitas; y piroclastos de composición dacítica y riolítica; también pertenecen las rocas intrusivas del Batolito de la Cordillera Blanca que generalmente son leucogranitos, granitos, granodioritas y tonalitas. En el emplazamiento del arco Negritos (10 – 3 Ma) van a predominar los piroclastos de composición dacítica a riolítica que fueron emitidos por lo últimos eventos del complejo volcánico Yanacocha (Cajamarca), hacia el sur los piroclastos de la formación Yungay; también las rocas intrusivas del Batolito de la Cordillera Blanca (Ancash).

Analizando la geoquímica de las rocas volcánicas e intrusivas, para el caso de los arcos magmáticos Calipuy y Negritos (Norte Sur), se observa que en los segmentos de Cajamarca y Cordillera Negra existe un notorio incremento en los cocientes de $Sr/Y > 70$ mostrando que estas rocas ígneas tienen una signatura del tipo adakita (Defant & Drummond, 1990); mientras que para el segmento Santiago de Chuco los cocientes de $Sr/Y < 70$ (Fig. 2A). Estos resultados evidencian que las rocas ígneas de los Segmentos Cajamarca, Santiago de Chuco y Cordillera Negra tienen una evolución magmática diferente.

Estas variaciones geoquímicas altas para los arco Calipuy y Negritos, quizás se debió a un mayor engrosamiento de la corteza durante el Mioceno. En este periodo los magmas demoraron en su ascenso y fueron forzados a formar cámaras magmáticas intermedias entre la corteza inferior y superior. El cambio de transición a rocas con signatura adakita se produjo en un tiempo donde existió la mayor producción de piroclastos en respuesta a la maduración termal de la corteza debido al engrosamiento cortical y al incremento en la velocidad de convergencia de la subducción (Chavez et al., 2010).

El modelo de cálculo de MOHO usando los cocientes de Ce/Y para estimar espesores de corteza y/o las profundidades de la columna cortical donde los magmas se emplazan (Mantle & Collins, 2008) (Fig. 2B). Las muestras del batolito de la Cordillera Blanca (15 – 8 Ma) presentan los valores más altos de Ce/Y = 0.1 a 9, seguido las rocas volcánicas de los Segmentos Cajamarca y Cordillera Negra con valores de Ce/Y = 0.1 a 7, en el segmento Santiago de Chuco los valores de Ce/Y = 0.1 a 4; siendo muy notario para este último segmento los valores de Ce/Y muy bajos en comparación con los segmentos Cajamarca, Cordillera Negra y batolito de la Cordillera Blanca. Por lo tanto, las rocas ígneas que sufrieron mayor presión y temperatura probablemente se desarrollaron en cámaras magmáticas profundas e intermedias y sugieren la fraccionación de minerales residuales como el granate - anfíbol, este conjunto de rocas corresponden al batolito de la Cordillera Blanca y los segmentos Cajamarca y Cordillera Negra; en tanto las rocas volcánicas del segmento Santiago de Chuco se desarrollaron en cámaras magmáticas someras y sugieren la fraccionación del anfíbol – clinopiroxeno.

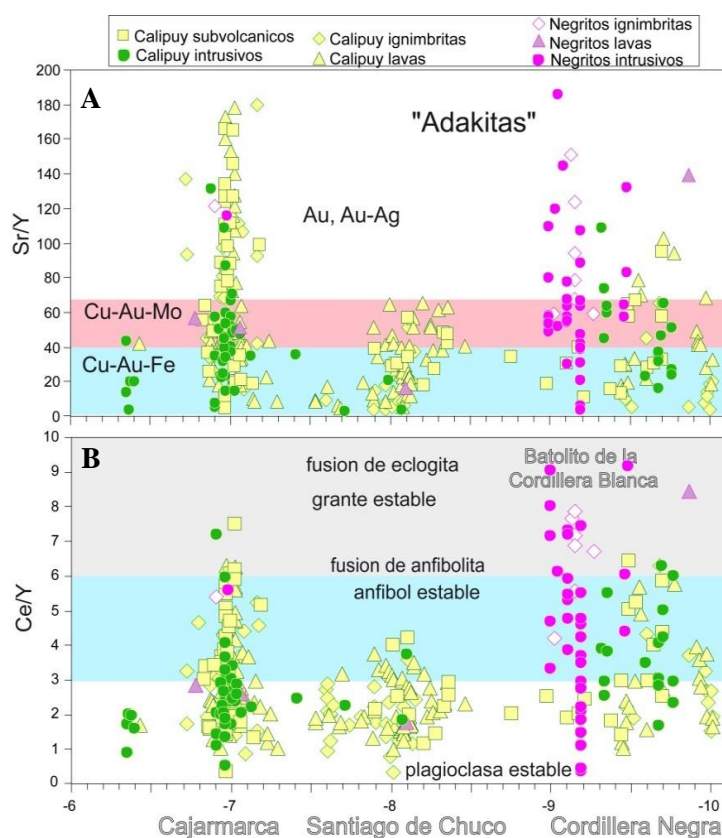


Figura 2: (A) Diagrama de las variaciones de los cocientes de Sr/Y. (B) Diagrama de las variaciones de Ce/Y. Relacionadas con la Latitud, a lo largo del Norte del Perú. Para las rocas ígneas de los segmentos Cajamarca, Santiago de Chuco, Cordillera Negra.

Para relacionar la geoquímica magmática usando los cocientes de Sr/Y, Ce/Y (Fig. 2A, 2B) con las anomalías de Bouguer (Fig. 3A, 3B). Hay que tener en cuenta que los cocientes de Sr/Y nos sirven para estimar espesores corticales y reconocer a las rocas del tipo adakita, en cambio los cocientes de Ce/Y nos sirven como parámetros para indicar los espesores corticales. Por lo tanto, los cocientes de Sr/Y (Fig. 3A) no es muy recomendable usarlo para este tipo de comparaciones ya que Sr es un elemento incompatible (LILE), involucrados en fase fluida siendo móviles y pueden que sus concentraciones estén controladas

por otros factores geoquímicos. Mientras que el elemento incompatible Ce (HFSE) son elementos inmóviles difíciles de involucrarse en otras fases químicas, además siendo una tierra rara ligera es menos compatible que el elemento Sr. Entonces los cocientes de Ce/Y nos muestran que es el mejor indicador para los cambios en la columna cortical y/o espesor cortical.

Tomando los valores de los cocientes de Ce/Y de las rocas ígneas con los datos de gravimetría de las anomalías de Bouguer (Fig. 3B) encontramos que para el batolito de la Cordillera Blanca los cocientes de Ce/Y son muy altas y los valores negativos de anomalías de Bouguer van de -420 a -320 mGal; en el segmento Cordillera Negra los valores varían de -330 a -230 mGal; para el segmento Cajamarca los valores de las anomalías de Bouguer corresponden de -283 a -240 mGal, para estos dos segmentos las razones de Ce/Y casi son similares; y finalmente en el segmento Santiago de Chuco tiene los cocientes más bajos de Ce/Y con los valores de anomalías de Bouguer que varían de -120 a -280 mGal. En base a esta relación descrita podemos confirmar que la columna cortical más espesa se ubica en la zona del batolito de la Cordillera Blanca, además este dominio cortical está controlado por el sistema de fallas Cordillera Blanca (Romero & Quispe, 2008); en tanto las rocas volcánicas de los segmentos Cajamarca y Cordillera Negra se formaron dentro de una corteza intermedia con espesores similares y estructuralmente están controlados hacia el Norte por el sistema de fallas corridas y plegadas de la deflexión de Cajamarca y al Sur por el Sistema de Fallas Huacllan-Churín al Este, Huaraz-Recuay al Oeste; y el volcanismo del Segmento de Santiago de Chuco se formó en una corteza relativamente delgada controlado por el sistema de fallas de Huacllan-Churín y la deflexión de Cajamarca.

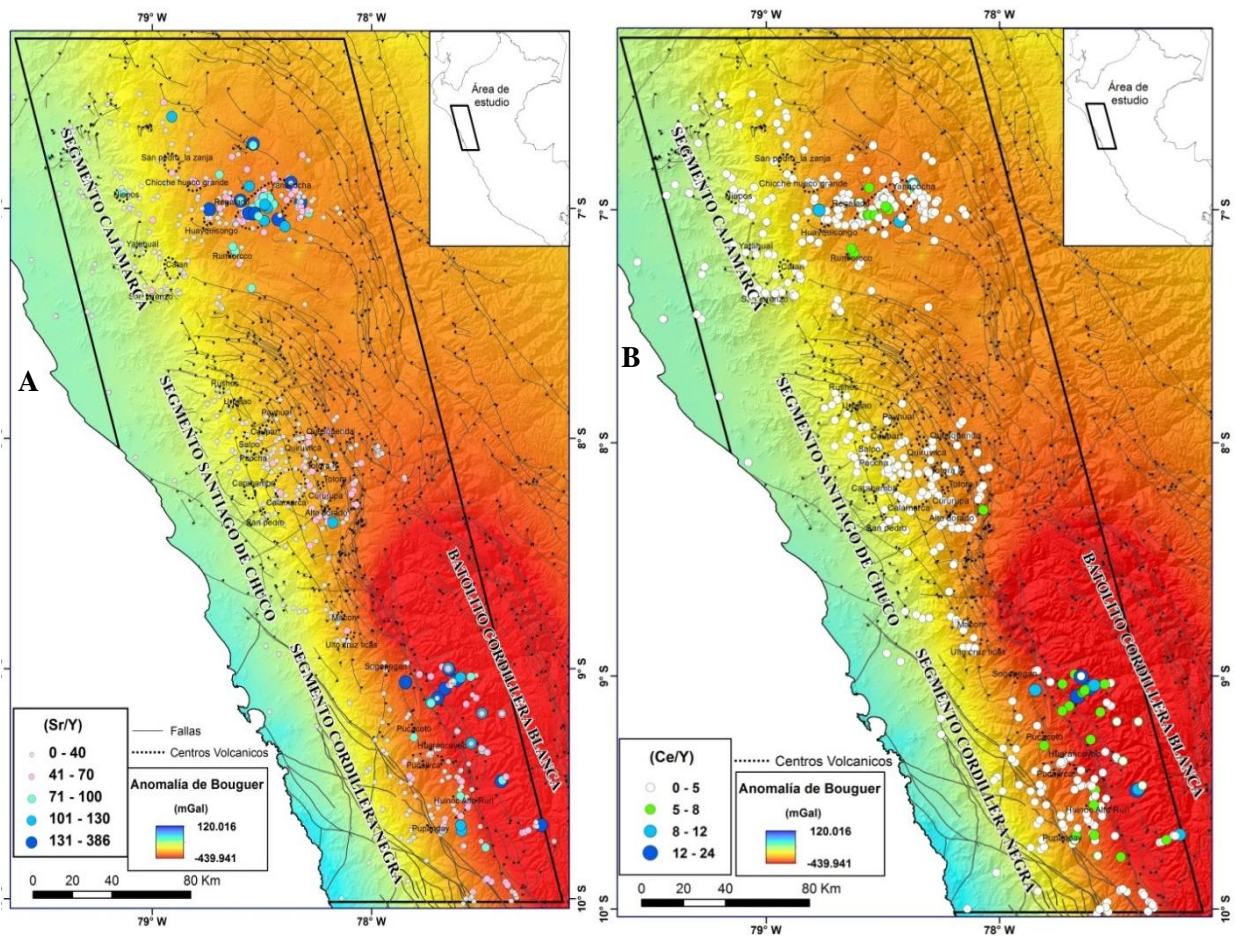


Figura 3: (A) Mapa de Anomalías Bouguer mostrando las variaciones geoquímicas en las razones de Sr/Y. (B) Mapa de Anomalías Bouguer mostrando las variaciones geoquímicas en las razones de Ce/Y. Para las rocas volcánicas de los segmentos Cajamarca, Santiago de Chuco, Cordillera Negra y para las rocas intrusivas de la Cordillera Blanca, a lo largo del Norte del Perú.

CONCLUSIONES

La distribución espacial de las estructuras volcánicas (calderas, estratovolcanes y domos) del Grupo Calipuy y los cuerpos plutónicos del batolito de la Cordillera Blanca están controlados por la combinación de sistemas de fallas regionales con rumbo de NO – SE (Fig. 1).

Hemos demostrado que los cocientes de Ce/Y son los más confiables para indicar los cambios en el espesor cortical (Fig. 3B), mostrando que la mayor producción en magmas félsicos (riodacitas, dacita, riolitas, leucogranitos, granitos) se manifiestan con valores bajos de las anomalías de Bouguer, en caso contrario, para magmas máficos los valores en las anomalías de Bouguer son altos. Teniendo en cuenta esos resultados; las rocas ígneas de los segmentos Cajamarca y Cordillera Negra coinciden en un engrosamiento cortical moderado a alto, para el segmento Santiago de Chuco existe la producción de rocas intermedias a máficas emplazándose en una corteza ligeramente delgada y esta variación coincide espacialmente con la parte Sur de la Deflexión de Cajamarca, las rocas intrusivas del batolito de la Cordillera Blanca compuestas mayormente por rocas félsicas con valores altos de Ce/Y y los valores de anomalías de Bouguer relativamente bajas nos sugieren que existió un mayor engrosamientos de la corteza continental en esta zona de Ancash (Fig.3B). Según estas características geoquímicas y geofísicas podemos vincular a las ocurrencias metálicas Au, Au-Ag al engrosamiento cortical que se desarrolló en los arcos Calipuy y Negritos en el Norte del Perú (Fig. 2A).

REFERENCIAS

- CHAVEZ, L., MAMANI, M. NAVARRO, P., MARTIARENA, R. & RODRIGUEZ, F. (2010) - Variaciones geoquímicas y clasificación por arcos magmáticos de las rocas volcánicas del “Grupo Calipuy”: Cajamarca, La Libertad y Ancash. En: Congreso Peruano de Geología 15, Lima, 2010. *Resúmenes*. Cuzco: Sociedad Geológica del Perú, 916-920p.
- COSSÍO, A. (1964) - Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa. *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín* 8, 69p.
- DEFANT, M. & DRUMMOND, M. (1990) - A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *J. Geophys. Res.* 95, 21503 – 21521.
- FARRAR, E. & NOBLE, D. (1976) - Timing of late Tertiary Deformation in the Andes of Peru. *Geology Society of America Bulletin*, 87 (9), 1247-1250.
- FUKAO, Y., KONO, M., YAMAMOTO, A., SATIO, M., NAWA, K., GIESECKE, A. & PERALES, C. (1999) - Gravity Measurements and Data Reduction for Bouguer anomaly Map of Peru: *Bulletin of Earthquake Research Institute University of Tokio*, 74, 161 – 266.
- KIHIEN, A. (1997) - La Franja de oro-cobre del norte del Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 9, Lima, 1997, *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica Del Perú, p. 51-56.
- MAMANI, M., RODRIGUEZ, R., ACOSTA, H., JAIMES, F., NAVARRO, P. & CARLOTTO, V. (2012) - Características litológicas y geoquímicas más resaltantes de los arcos magmáticos del Peru desde el Ordovícico. XVI Congreso Peruano de Geología, resúmenes extendidos, 5p.
- MANTLE, G. & COLLINS, W. (2008) - Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: Correlation between arc basalt composition and Moho depth. *Geology*, 36, 87-90.
- 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 Sociedad Geológica del Perú*, (103): 215-232p.
- NAVARRO, P., RIVERA, M. & MONGE, R. (2010). Geología y Metalogenia del Grupo Calipuy (Volcanismo Cenozoico) Segmento Santiago de Chuco, Norte del Perú. *INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios. Especiales*, 3, 150p.
- NOBLE, D. & MCKEE, E. (1999) - The Miocene metallogenic belt of central and northern Peru. En: Skinner, Brian J., ed. *Geology and ore deposits of the Central Andes*. Littleton, CO: Society of Economic Geologists, Special Publication 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 Sociedad Geológica del Perú*, (99): 7-21p.
- ROMERO, D. & QUISPE, J. (2008) - Control estructural de la cuenca Jurásico-Cretácico (Chicama-Goyllarisquiza), del Perú Centro-Norte (CD ROM). EN: Congreso Peruano de Geología, 14 & Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. *Resúmenes*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.