

ACTIVIDAD TECTÓNICA DEL SISTEMA DE FALLAS CINCHA-LLUTA- INCAPUQUIO (SFCLLI) DURANTE EL CRETÁCICO Y PALEOGENO EN EL SUR DEL PERÚ

Harmuth Acosta, Juan Pablo Rodriguez, Walter Ccallo, Moises Cutipa
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Regional, Lima, Perú. hacosta@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCION

El sur del territorio peruano está considerado como una región tectónica y volcánicamente activa. La actividad minera es importante y se desarrolla principalmente en la vertiente oeste de la cordillera Occidental entre Tacna, Moquegua y Arequipa; lugar donde se encuentra el corredor estructural denominado como sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio (SFCLLI). Este nombre involucra a una serie de fallas que poseen un común denominador según su origen, sentido, tipo y posición espacial (Fig. 1). Los estudios cartográficos demuestran que este importante sistema de fallas, comprende una amplitud entre 25 y 50 km de ancho, mientras que su recorrido longitudinal sobrepasa los 450 km desde la frontera con Chile hasta la intersección con el sistema de fallas Iquipi y más.

ACTIVIDAD TECTÓNICA EN EL CRETÁCICO- PALEÓGENO

Durante el Cretácico inferior hay una relación entre la actividad tectónica del SFCLLI con el arco magmático Río Grande (170 - 130 Ma). Este arco magmático tiene una amplia distribución espacial, aflora desde la región de Chile hasta el norte del Perú. En el área que comprende el SFCLLI está presente con la Unidad magmática denominada en el presente trabajo como Torconta, cuyo mayor afloramiento está en el frente oeste de la Cordillera Occidental, entre Arequipa y Aplao. Esta unidad magmática se presenta formando inmensas masas ígneas de forma alargada en dirección NO-SE. Intruyen rocas volcánicas y sedimentarias del Jurásico. Dataciones radiométricas en granodioritas (Schildgen et al., 2009) fechan en 136.0 ± 1.7 Ma y 137.0 ± 1.8 Ma por el poblado de Iquipi. Estas rocas se emplazaron en un ambiente tectónico distensivo, utilizando como conducto de salida las estructuras o fallas distensivas pertenecientes al sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio.

Durante el Cretácico superior la cuenca Arequipa se desarrolla en un ambiente marino de aguas cálidas. Las rocas carbonatadas que se depositan corresponden a la Formación Arcurquina (Jenks 1948; Benavides 1962). Estos autores reportan en el cerro Arcurquina-Yura a la columna estratigráfica tipo, cuya primera secuencia contiene calizas arcillosas fosilíferas, margas y algunas tobas. Las tobas se usan como horizontes guías, hallándose una relación con los eventos volcánicos del Arco magmático Ilo-Lancones (105 a 90 Ma, Mamani et al., 2010) que se desarrolló en la Cordillera de la Costa (Cuenca Lancones). La segunda secuencia estratigráfica mayor se desarrolló en el Albiano superior a Cenomaniano. Incluye progradación clástica de areniscas líticas, cuyo contenido de grauvaca indica la proximidad de relieves volcánicos en curso de erosión, o quizás de volcanes activos (Benavides, 1962). Al tope este autor también observó pseudomorfos de anhidrita y grietas de desecación de medios emersivos. La tercera secuencia correspondería al Cenomaniano medio a superior, toda esta parte varía desde una plataforma externa a facies de plataforma interna somera (Benavides, 1962). Asimismo señala una última secuencia probablemente de edad Turoniano. Para estas capas finales Benavides (1962) reporta una actividad tectónica distensiva sinsedimentaria. Callot et al., (2008) para esta misma época reporta grandes colapsos en la Formación Ayabacas; hace mención de eventos tectónicos sinsedimentarios distensivos durante el Turoniano-Coniaciano en la zona de Cusco y Puno. Este fenómeno tectónico es coincidente con la última época de deposición de la Formación Arcurquina de la zona de Arequipa; a su vez, coincidente se tiene actividad tectónica sinsedimentaria registrada con olistolitos o mega deslizamientos a manera de pliegues y slumps

en los afloramientos de estas calizas en el cerro Arcurquina-Yura y en Huasamayo al sur de Huambo.

Evidenciado con el mapeo geológico el SFCLLI tuvo mucho protagonismo durante la deposición de la Formación Arcurquina, comportándose como un sistema de fallas normales con depósitos marinos hacia el este. Se observa que las calizas de esta formación no afloran al suroeste de la falla Cincha-Lluta y no hay evidencia de depósitos de clastos calcáreos en la cuenca Moquegua; en cambio, hacia el norte y noreste estas calizas cobran mucha relevancia. Este límite de cuenca reconocido en campo muestra al SFCLLI como el borde de cuenca para los sedimentos más jóvenes que los del Grupo Yura (Formaciones Murco, Arcurquina); además que el borde de cuenca para los sedimentos del Grupo Yura se halla en la vertiente este de la Cordillera de la Costa por el poblado de Corire-Aplao, ubicado a 50 km en línea recta con respecto a los últimos afloramientos de la Formación Arcurquina al sur de Huambo.

Coniaciano-Santoniano. En este período se inicia la inversión tectónica del SFCLLI. Las fallas existentes formadas en el esquema estructural distensivo y dextral que controlaron la cuenca Arequipa sufren una inversión tectónica, convirtiéndose a un sistema de fallas inicialmente de movimiento de rumbo sinistral, para finalmente adquirir adicionalmente movimiento inverso. El efecto de la intensa actividad tectónica del SFCLLI se manifiesta con la creación de zonas con intenso metamorfismo, formándose áreas con esquistos y gneis. Las rocas mayormente afectadas son los intrusivos tonalita y granodiorita de la Unidad Torconta, ubicados en la vertiente oeste de la Cordillera Occidental entre el río Ocoña y Omate. En base al control de las edades de emplazamiento de los intrusivos, estimamos que, el SFCLLI estuvo activa juntamente con el Sistema de Fallas Iquipi (SFI) por el sector de Aplao hasta fines del Santoniano; afirmación hecha en base a la datación de 81 Ma en Zafranal (Mamani y Rivera, 2011), donde estos cuerpos volcánicos intruyen rocas metamórficas. Los afloramientos de estos metamórficos se hallan en la zona que corresponde a la actual vertiente oeste de la Cordillera Occidental, desde las cercanías del poblado de Chaucalla en el río Ocoña hasta Yura en Arequipa. Asumimos que este evento tectónico es también el responsable del metamorfismo que afectó a rocas de la Formación Chocolate y Socosani aflorantes en Cerro Verde y Charcani – Arequipa. En Omate – Moquegua aflora una importante área constituida por rocas tonalíticas pertenecientes a la Unidad intrusiva Torconta; presenta esquistosidad paralela en estrecha cercanía a fallas de dirección NO-SE.

Mégard, 1978 reporta eventos tectónicos compresivos a partir del campaniano temprano en la parte central del territorio nacional. Marocco y Delfaud (1990) indican que en el Santoniano ocurre la primera manifestación importante de la tectónica andina, mencionando que en esta época los andes centrales inician su emersión, y que a partir de este evento el régimen tectónico pasa de distensivo a compresivo. En Chile durante el Cretácico Superior una fuerte compresión (fase Peruana o Sub-hercínica; Coira et al., 1982 en Makshev, 2001) produjo pliegues y fallas de las secuencias estratificadas depositadas previamente en la cuenca Tarapaca-Arequipa, transformándola en un área positiva denominada como proto-cordillera de Domeyko (Mpodozis y Ramos, 1990). Por lo tanto, durante este periodo de tiempo en el territorio peruano y norte chileno se desarrolló una importante actividad tectónica, que produjo la creación de la Cordillera Occidental; en nuestro caso por la inversión tectónica del SFCLLI.

Durante el Campaniano-Maastrichtiano el SFCLLI a lo largo de su recorrido adquiere un movimiento inverso con componente de rumbo sinistral. Según la muestra datada en la mina Zafranal en 81 Ma, se considera que corresponde al límite máximo de cambios en los procesos de inversión tectónica de este sistema. A partir de esta fecha las rocas no son afectadas por un metamorfismo a tal grado; además, este período es el inicio de emplazamientos de porfidos como Zafranal (Au-Cu), Alto Quemado (Au-Cu), etc. en la Cordillera Occidental.

En el área que afecta el SFCLLI a partir de la quebrada Vitor con dirección al poblado de Caraveli, los intrusivos del Cretácico inferior y rocas volcánicas del jurásico medio a superior admiten diques de composición andesítica relacionados a vetas de Au. Estas estructura-vetas de oro orogénico son más jóvenes que 81 Ma; relación hecha en base a que muchas de estas estructura –vetas cortan rocas de esta edad en Zafranal.

A partir del Campaniano se inicia el emplazamiento de rocas tanto volcánicas como intrusivas del arco magmático Toquepala (~75-55 Ma). A lo largo del SFCLLI entre Palca - Tacna y el río Vitor - Arequipa hay emplazamientos de rocas ígneas correspondientes a la Super Unidad Tiabaya (78-65 Ma), siendo el principal conducto de los magmas las fallas reactivadas de este sistema.

En el Paleoceno el SFCLLI, específicamente la falla Cincha Lluta al norte de la mina Cerro Verde (Cu-Au) controla a la Super Unidad Yarabamba (62-55 Ma) que se emplaza en rocas metamorfozadas y en la Súper Unidad Tiabaya en contexto tectónico compresivo. Entre tanto, por la zona de Moquegua, la falla Asana e Incapuquio controlan una serie de cuerpos también pertenecientes a la Super Unidad Yarabamba. Este período de reactivación tectónica coincide con los yacimientos *giant* de pórfidos del sur del Perú como Cerro Verde (62 Ma), Toquepala (58-56 Ma), Cuajone (52 Ma), Quellaveco (56 Ma), Chapi, Los Calatos, etc. En este período se desarrolla la Cordillera Occidental gracias a la intensa acumulación de material proveniente del arco volcánico Toquepala.

Durante el Eoceno en la Cordillera Occidental se emplazan los magmas de la Super Unidad Challaviento (55-42 Ma), contemporáneo a esto, las fallas inversas adquieren mayor velocidad de movimiento logrando elevar aún más a la cordillera; este efecto es compensado con la depositación de sedimentos en dos cuencas sedimentarias a ambos márgenes de la Cordillera Occidental: 1) Hacia la margen este se desarrolla la cuenca Huanca (Cruz et al., 2002) entre Yura y Huambo (Fig. 1); esta cuenca admite una importante acumulación sedimentaria conformada principalmente por conglomerados con clastos de roca volcánica, caliza, cuarcita y gneis con dirección de corriente hacia el E y NE, y areniscas arcóscicas deleznable nombrada como Formación Huanca. 2) La cuenca Moquegua (Fig. 1) ubicada al borde oeste de la Cordillera Occidental admite sedimentos de la Formación Moquegua inferior datado por el sector de Caraveli en 44.46 Ma (Roperch et al., 2006) y la Formación Moquegua superior cuya base fue datada en 30.7 ± 0.5 Ma (Sempere et al., 2004) por la zona de Moquegua.

La cuenca Moquegua posee dos características tectónicas muy particulares. a) La margen oeste de la cuenca Moquegua que se encuentra relacionada a la cordillera de la Costa al parecer estuvo sometida a procesos distensivos durante el Eoceno; peculiaridad observada en los afloramientos ubicados entre Caraveli y río Ocoña, donde están claramente definidos por fallas normales que limitan hacia el este los sedimentos de esta unidad estratigráfica. b) Los depósitos ubicados en el borde este, cercanos al SFCLLI estuvieron sometidos a procesos compresivos. Estos procesos de compresión se registraron en los sedimentos a manera de capas conglomerádicas, depósitos de pendiente con dirección de corriente preferencial al SO y fallas inversas selladas por sedimentos de la Formación Moquegua superior. Por lo tanto, estas evidencias de tectonismo compresivo indican que hubo actividad en el SFCLLI antes de 30 Ma.

Durante el Oligoceno la cuenca Maure (Fig. 1) inicia su desarrollo. La datación de 28.33 ± 3.76 Ma, (France et al., 1984) en lavas ubicadas a la base de los sedimentos del Grupo Maure refieren al inicio de una intensa actividad volcánica ligada a la actividad del SFCLLI; este sistema de fallas continúa su movimiento inverso sinistral, pero se desarrolla más intensamente hacia el borde este de la Cordillera Occidental (migración de esfuerzos hacia el este). Una importante reactivación del SFCLLI ocurre a partir del Oligoceno terminal (~24 Ma) los esfuerzos siguen siendo compresivos y se inicia una importante acumulación de material volcánico, provocando con este hecho la migración de las partes más elevadas de la cordillera hacia el este sobre la cuenca Maure; es por esta razón que el SFCLLI está actualmente ubicado en la margen o vertiente oeste de la Cordillera Occidental.

CONCLUSIÓN

El corredor estructural comprendido por el SFCLLI durante el Cretácico inferior admite en contexto tectónico distensivo la Unidad magmática Torcontá; asimismo entre el Turoniano-Coniaciano (sur del Perú) se registra otro importante evento distensivo con olistolitos o mega

deslizamientos a manera de pliegues y slumps en las calizas Arcurquina. Durante el Coniaciano-Santoniano se inicia la inversión tectónica del SFCLLI; las fallas existentes formadas en el esquema estructural distensivo y dextral que controlaron a la cuenca Arequipa sufren una inversión tectónica, convirtiéndose a sistema de fallas inicialmente de rumbo sinistral, para finalmente comportarse como fallas del tipo inversa con componente de rumbo sinistral. El efecto de la intensa actividad tectónica se traduce en la creación de zonas con esquistos y gneis. Durante el Campaniano-Maastrichtiano se da el inicio de emplazamiento de pórfidos como Zafranal (Au-Cu), Alto Quemado (Au-Cu), etc. además que el SFCLLI admite diques de composición andesítica relacionados a vetas de Au mas jóvenes que 81 Ma. El emplazamiento de rocas ígneas y volcánicas del arco magmático Toquepala es gracias a una reactivación del SFCLLI en el Campaniano que dura hasta el Paleoceno, donde se emplazan los pórfidos de Cerro Verde (62 Ma), Toquepala (56-58 Ma), Cuajone (52 Ma), Quellaveco (56 Ma), Chapi, Los Calatos, etc. Durante el Eoceno se crean las cuencas sedimentarias de Moquegua, Huanca y Maure, ligados a un cambio en la velocidad de movimiento del SFCLLI.

REFERENCIA

- Acosta et al. (2010).- Actividad tectónica del sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio durante la evolución de la cuenca Arequipa en el Jurásico. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9 (2010), Cusco p. 742-745
- Benavides, V. (1962).- Estratigrafía Pre-terciaria de la región de Arequipa. II Congreso Nacional de Geología, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo 38; p. 5-63.
- Callot, P. (2008).- La Formation Ayabacas (limite Turonien-Coniacien, Sud-Pérou) : collapse sous-marin en réponse à l'amorce de l'orogénèse andine, Thèse Doctorat de L'université de Toulouse.
- Cruz M., Romero D., Ticona P. & Sanchez A. (2002).- Análisis de la cuenca Huanca (Eoceno-Oligoceno inferior): evolución sedimentaria y paleogeográfica, departamento de Arequipa, sur del Perú. XI Congreso Peruano de Geología. Trabajos Científicos Sociedad Geológica del Perú, 8p.
- France, L.J., Clark, A.H., Farrar, E. (1984).- Geochronological and petrological stuides of Tertiary igneous rocks, Cordillera Occidental, southernmost Peru: a preliminary report. INGEMMET, informe inédito, 28 p.
- Jenks, W. 1948. Geología de la Hoja de Arequipa al 200,000. Boletín del Instituto Geológico del Perú, Bol. 9.
- Mamani, M.; Navarro, J.; Carlotto, V.; Acosta, H.; Rodríguez, J., et al (2010) - Arcos magmáticos meso-cenozoicos del Perú y su relación con ocurrencias metálicas (CD-ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco 2010. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 563-566.
- Mamani, M. y Rivera, F. (2011).- Sistema de fallas Iquipi-Clavelinas: zona de transición cortical e implicancias para el emplazamiento de depósitos minerales.
- Maksaev, V. (2001).- Reseña metalogenica de chile y de los procesos que determinan la metalogenesis andina. Santiago: Universidad de Chile; 63p
- Marocco, R. y Delfaud, J. (1990).- Las Cuencas Continentales de los Andes Centrales. Relaciones con la Evolución Geodinámica Andina. Symposium Internacional "Géodynamique Andine" 15 – 17 mai (1990) Grenoble, France. ISAG. Pp.-273-275
- Mégard, F. (1978).- Étude géologique des Andes du Pérou central. ORSTOM, Paris, Mémoire 86, 310 p.
- Mpodozis C., Ramos V. (1990).- The Andean of Chile and Argentina. Ericksen, George E., ed.; Cañas Pinochet, María Teresa, ed.; Reinemund, John A., ed., Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources. . Houston, Texas: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1990, pp. 59-90 Earth Science Series,
- Roperch, P., Sempere, T., Macedo Sánchez, O., Arriagada, C., Fornari, M., Tapia, C., García, M., Laj, C. (2006).- Counterclockwise rotation of late Eocene-Oligocene fore-arc deposits

in southern Peru and its significance for oroclinal bending in the Central Andes: Tectonics, v. 25, n. 3, p. 29.

Sempere, T.; Fornari, M.; Acosta, J.; Flores, A.; Jacay, J., et al. (2004) - Estratigrafía, geocronología, paleogeografía y paleotectónica de los depósitos de antearco del sur del Perú. Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 533-536.

Schildgen, T.F., Ehlers, T.A., Whipp, D.M., van Soest, M.C., Whipple, K.X., Hodges, K.V. (2009b).- Quantifying canyon incision and Andean Plateau surface uplift, southwest Peru: A thermochronometer and numerical modeling approach: J. Geophys. Res., v. 114, F4, doi: 10.1029/2009JF001305.

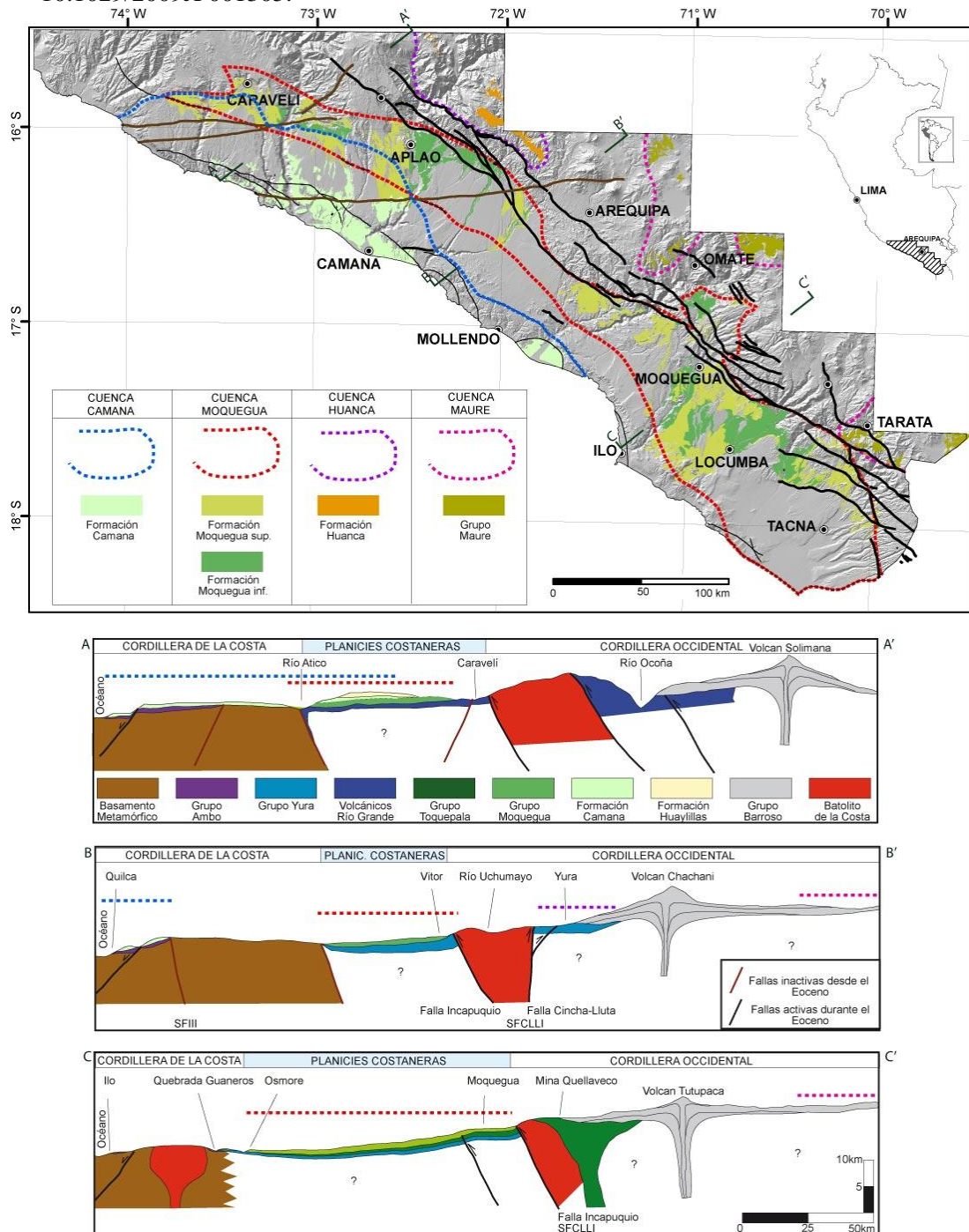


Fig. 1 Mapa de ubicación del SFCLLI mostrando la configuración actual de estructuras en flor de la inversión tectónica. Corte A A' realizada en el sector de Atico-Caraveli; Corte B B' realizada en el sector de Quilca-Yura; Corte C C' realizada en el sector de Ilo-Mina Quellaveco mostrando la ubicación espacial de las cuencas sedimentarias.