

SISTEMAS TRANSCURRENTES DE ESCALA LITOSFÉRICA EN EL SUR DEL PERÚ

Thierry SEMPERE¹, Javier JACAY², Víctor CARLOTTO³, William MARTÍNEZ⁴,
Conrado BEDOYA⁵, Michel FORNARI⁶, Pierrick ROPERCH⁷,
Harmuth ACOSTA³, Jorge ACOSTA⁵, Luis CERPA³, Alexander FLORES⁵,
Ivanoff IBARRA³, Omar LATORRE³, Mirian MAMANI³, Paola MEZA³,
Francis ODONNE⁸, Yovani ORÓS³, Adán PINO⁵ & Rildo RODRÍGUEZ⁴

¹ I.R.D.-Perú, La Mariscala 115, Lima 27; apartado postal 18-1209, Lima 18

² Escuela de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, apartado 3973, Lima 100

³ Facultad de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco

⁴ INGEMMET, Avenida Canadá 1470, apartado postal 889, Lima 41

⁵ Escuela de Ingeniería Geológica – Geotecnia, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna

⁶ I.R.D. and Laboratoire de Géochronologie, UMR Géosciences Azur, Université de Nice, Francia

⁷ I.R.D.-Chile, casilla 53390, Correo Central, Santiago, Chile

⁸ Laboratoire de Dynamique des Bassins Sédimentaires, Université Paul Sabatier, Toulouse, Francia

RESUMEN

Tres importantes sistemas transcurrentes, con magmatismo asociado, son identificados en el sur del Perú. Un corredor transcurrente dextral (CECLLA = corredor estructural Cusco-Lagunillas-Laraqueri-Abaroa), orientado N150 y ancho de ~40-80 km, se caracteriza por potentes lavas básicas oligocenas y numerosas intrusiones. Los otros dos sistemas, orientados ~N125-130 y senestrales, están cartográficamente relacionados con el CECLLA. Magmas básicos miocenos a cuaternarios están asociados al sistema ubicado al noreste (SFUACC = sistema de fallas Urcos-Ayaviri-Copacabana-Coniri). Al suroeste, el abundante magmatismo de arco de edad Cretáceo superior-Paleoceno parece relacionado con el sistema de fallas Incapuquio-El Castillo (SFIEC).

ABSTRACT

Three large transcurrent systems, with related magmatism, are identified in southern Peru. A ~40-80km-wide, N150-trending, dextral corridor (CECLLA = Cusco-Lagunillas-Laraqueri-Abaroa structural corridor) is characterized by thick Oligocene basic lavas and numerous intrusions. The other two systems are oriented ~N125-130 and sinistral, and cartographically related to the CECLLA. Miocene to Quaternary basic magmas are associated to the northeastern system (SFUACC = Urcos-Ayaviri-Copacabana-Coniri fault system). In the southwestern region, the abundant Late Cretaceous-Paleocene arc magmatism seems related to the Incapuquio-El Castillo fault system (SFIEC).

INTRODUCCIÓN

La visión tradicional de la estructura tectónica del sur del Perú descansa sobre estudios realizados hace más de veinte años. Sin embargo, estudios en curso desde 1997 están aportando un gran número de datos nuevos que en conjunto plantean la necesidad de una reevaluación profunda de este tema.

En esta corta contribución descriptiva se presentan los principales elementos tectónicos que reconocimos actualmente en el sur del Perú, así como sus relaciones con las cuencas sedimentarias sinorogénicas presentes en el área. Observamos que los sistemas deformacionales más prominentes en esta parte del "Oroclino Boliviano" son predominantemente transcurrentes,

y que muchas manifestaciones magmáticas están asociadas con ellos.

ESTRUCTURA TECTÓNICA A GRAN ESCALA DEL SUR DEL PERÚ

El corredor estructural Cusco-Lagunillas-Laraqueri-Abaroa (CECLLA)

Uno de los principales elementos estructurales y paleotectónicos del sur del Perú es el corredor estructural Cusco-Lagunillas-Laraqueri-Abaroa (CECLLA), cuya orientación ~N150 muestra una interesante oblicuidad de 20° con la dirección andina regional (Fig. 1). Este gran sistema de desgarre dextral tiene ~40 a ~80 km de ancho y

muestra una variedad de características tectónicas, magmáticas y sedimentarias.

A lo largo del CECLLA, dentro del cual se observan fallas inversas y transcurrentes, las rocas pre-oligocenas están localmente intensamente deformadas (plegadas, cizalladas, y/o penetrativamente fracturadas), mientras que al noreste del CECLLA no lo son. Rocas paleozoicas sólo afloran al noreste del CECLLA, que además coincide con el límite noreste de las facies profundas de edad Jurásico medio de la cuenca de Arequipa (Fig. 2). Inmediatamente al suroeste del CECLLA, las rocas pre-cenozoicas, escasamente expuestas, son estratos jurásicos muy deformados y depósitos discordantes del Cretáceo medio, menos deformados. Inmediatamente al noreste del CECLLA, los estratos jurásicos están poco deformados y preservados por debajo de la discordancia del Cretáceo inferior; en contraste con las facies observadas al suroeste del CECLLA, presentan facies continentales y, hacia el suroeste, facies marinas someras subordinadas (Sempere, Acosta & Carlotto, 2000 y este volumen).

En el Cretáceo, fenómenos deformacionales y térmicos afectaron por lo menos partes del CECLLA,

produciendo levantamientos y localmente una discordancia angular (Newell, 1949; Clark et al., 1990; Sempere et al., 2002 y este volumen). Al sur de 15°S, estratos espesos de edad Cretáceo superior - Paleógeno, que representan un relleno de tipo antepaís, se conocen sólo al noreste del CECLLA (salvo una ocurrencia adentro). Plutones eocenos afloran sólo al oeste (o dentro) del CECLLA (batolito Andahuaylas-Yauri al suroeste de Cusco; batolito Challaviento al noreste de Tacna-Mal Paso). Debido a estas características, la « Falla Límite Intra-Andina » (FLIA) conjeturada por Sempere (1995) tendría que identificarse con el CECLLA.

El CECLLA fue el área de emplazamiento de las rocas ígneas del Grupo Tacaza s.s., el cual incluye principalmente rocas volcánicas básicas alcalinas (datadas en 30-24 Ma; Fornari et al., 2002) e intrusiones básicas a félsicas que también presentan afinidades alcalinas (Mamani & Ibarra, 2000). Su geometría y características geoquímicas muestran que este corredor magmático no se relacionaba directamente con la subducción pero más bien funcionó como un sistema de desgarre litosférico que permitió que líquidos mantélicos alcanzaran la superficie. El plegamiento de las coladas básicas del Tacaza en el

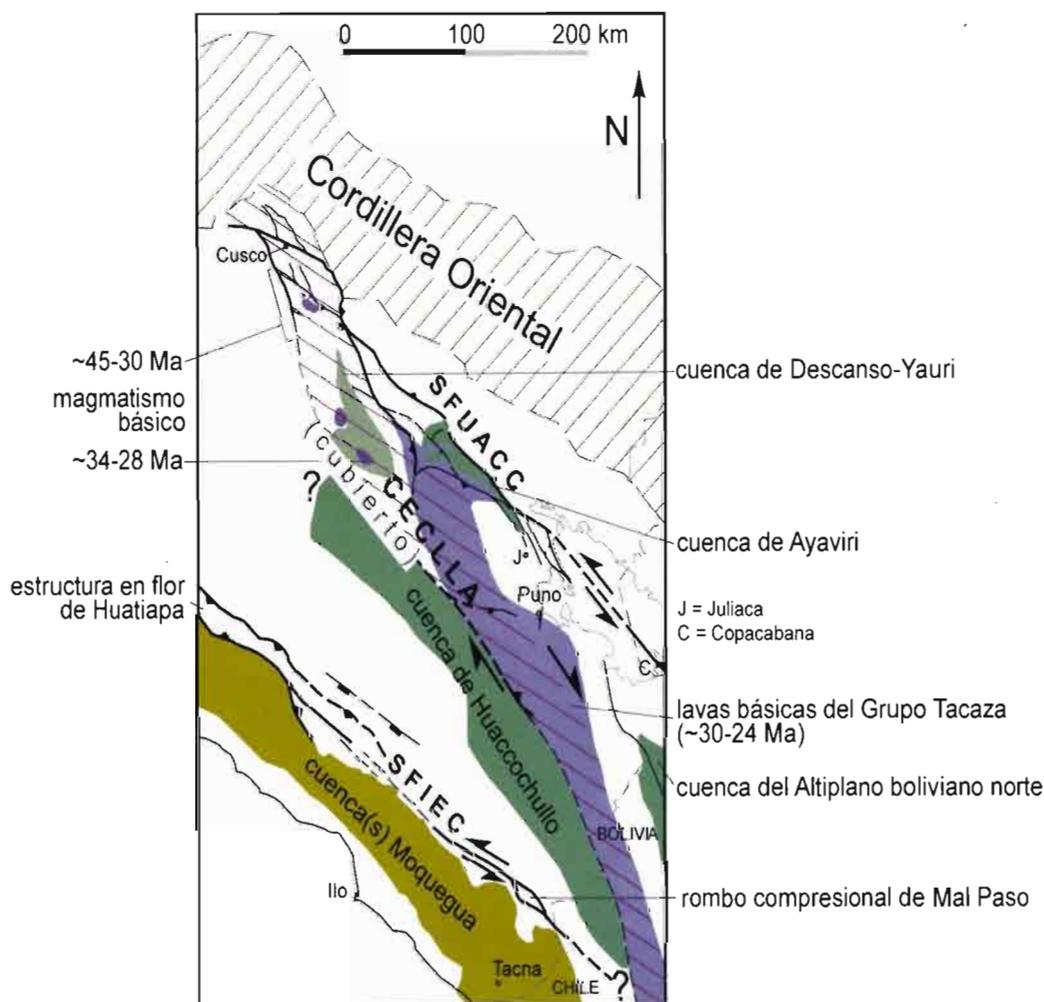


Fig. 1: Estructura tectónica simplificada del sur del Perú. El mapa destaca los tres sistemas transcurrentes reconocidos en este trabajo (CECLLA, SFUACC, SFIEC)

CECLLA está sellado por estratos de edad Mioceno superior o más reciente.

El Grupo Tacaza *sensu lato* también incluye unidades volcano-sedimentarias que fueron depositadas en cuencas oligo-miocenas gemelas al oeste (cuenca de Huacochullo, Perú) y este (cuenca del Altiplano norte, Bolivia) del CECLLA durante su actividad tectono-magmática. Los rellenos de estas dos cuencas simétricas muestran similitudes estratigráficas remarcables. Los estratos basales del Grupo Tacaza s.s. sellan comúnmente estratos anteriores con una discordancia angular, aún afuera del CECLLA. Unas cuencas más pequeñas, como la cuenca de Descanso-Yauri (Mioceno inferior y medio) y la cuenca de Paruro (Mioceno superior), se desarrollaron dentro del CECLLA.

En la actualidad, fallamientos normales y/o transtensionales son particularmente activos en el CECLLA (áreas de Acomayo, Pomacanchis, Langui-Layo, Lagunillas, etc.), donde han creado semigrabenes en los cuales se han formado lagunas. Un fallamiento senestral N120 (ilustrado por el mecanismo focal de un sismo cortical en el área de Lagunillas) es común, y compatible con el sistema dextral formado por el CECLLA de orientación ~N150. Un volcanismo básico y un hidrotermalismo, ambos

de edad Neógeno superior, están también documentados en el área del CECLLA.

El sistema de fallas Urcos-Ayaviri-Copacabana-Coniri (SFUACC)

El sistema de fallas Urcos-Ayaviri-Copacabana-Coniri (SFUACC) tiene una orientación ~N130. Se trata de un sistema transcurrente senestral que limita al suroeste el dominio de la Cordillera Oriental y tiene un importante componente inverso de vergencia suroeste (Fig. 1). Aunque fue anteriormente considerado como un cabalgamiento en la vecina Bolivia (Sempere et al., 1990), muchas fallas del SFUACC tienen aparentemente una geometría subvertical. Al SFUACC está estrechamente asociado un magmatismo neógeno (Redwood & Macintyre, 1989), que incluye rocas derivadas del manto emplazadas exactamente sobre fallas principales tanto en el Perú (Carlotto, 1998) como en Bolivia (Hérail et al., 1993), hecho que demuestra netamente que se trata de un sistema de desgarre cortical a litosférico (Fig. 3). El CECLLA y el SFUACC se vuelven coalescentes al sur de Cusco y en su prolongación común hacia el NNO la Cordillera Oriental presenta una notable deflexión oroclinal (Fig. 1). El desarrollo y la deformación

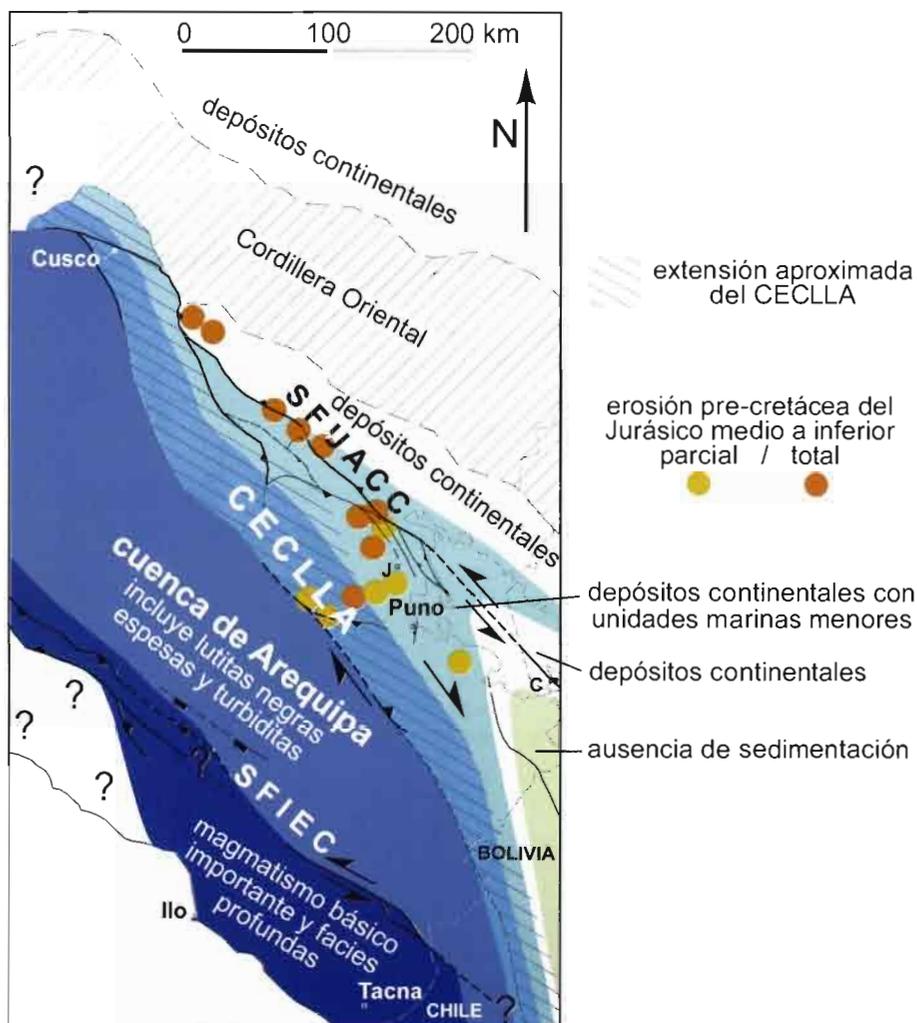


Fig. 2: Distribución de las principales zonas paleogeográficas en la cuenca jurásica. El corredor CECLLA corresponde a un elemento mayor de la arquitectura de la cuenca. Las fallas ilustradas son de edad andina

sindeposicional de la cuenca rómbica de Ayaviri (Oligo-Mioceno) fueron controlados por fallas principales pertenecientes al SFUACC.

El sistema de fallas Incapuquio-El Castillo (SFIEC)

La estructura del extremo sur del Perú es dominada por el sistema senestral Incapuquio-El Castillo (SFIEC), de orientación N125 (Jacay et al., 2002). Incluye estructuras en flor de pequeña a gran escala, que han exhumado el basamento precámbrico (Fig. 1). En este sistema, los buzamientos de las fallas varían de 90° (dominante) a 35°, y un componente inverso generalmente ha levantado los compartimentos noreste. Está muy bien expresado en la topografía actual (Fig. 4) y es sísmicamente activo. No se descarta que algunos segmentos o fallas del sistema hayan tenido un rechazo normal en épocas más recientes.

El SFIEC representa, en primera aproximación, el límite del *plateau* que se extiende hacia el noreste y soporta los volcanes de edad Neógeno superior que conforman la Cordillera Occidental. Por lo menos al este de 70°10'W,

ciertas fallas del SFIEC presentan cataclasitas a milonitas de geometría subvertical y de ancho hectométrico. Estas tectonitas (rocas de falla), que por lo menos en ciertos casos derivan de un protolito riolítico, se encuentran especialmente en *restraining bends* y *compressional jogs* en la parte oriental del SFIEC, es decir en la región interna del eje de simetría del Oroclino.

La distribución y el espesor de los conglomerados oligo-miocenos sugieren que el SFIEC constituyó el límite noreste, activo, de la "cuenca Moquegua". Es posible que el abundante magmatismo de arco representado por el vecino y deformado Grupo Toquepala (Cretáceo superior - Paleógeno inferior) se desarrolló en relación con una transpresión a lo largo del SFIEC (siguiendo al modelo de Saint-Blanquat et al. [1998]). Es bastante significativo que muchos plutones coetáneos ocurren en la estructura en flor de Huatiapa (Fig. 1).

Aunque está en gran parte cubierto en el norte de Chile por debajo de las espesas rocas volcánicas neógenas de la Cordillera Occidental, el SFIEC podría interrumpirse contra el CECLLA o volverse coalescente con él.

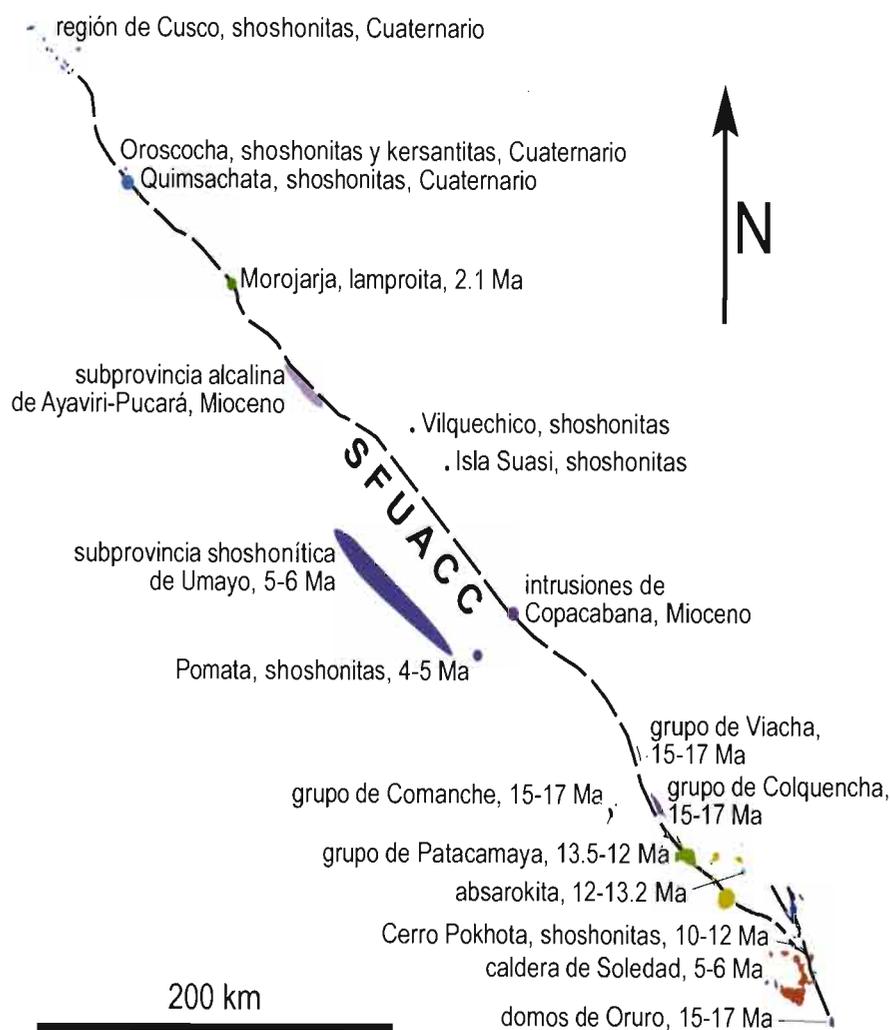


Fig. 3: Numerosas manifestaciones magmáticas están asociadas con el SFUACC, sugiriendo que los magmas aprovecharon este sistema de falla para ascender, e implicando que tiene una geometría subvertical

CONCLUSIONES

Dado que los magmas tienden a ascender subverticalmente desde profundidades que corresponden a la corteza inferior y media y al manto superior, la estrecha asociación de rocas ígneas, en parte derivadas del manto, con el CECLLA, SFUACC, y SFIEC, demuestra que estos sistemas de fallas son subverticales y de escala litosférica.

Creemos que nuestra identificación de zonas de desgarre de escala litosférica en el sur del Perú pone en tela de juicio el paradigma según el cual los Andes del

Oroclino fueron edificados puramente por acortamiento cortical. Fenómenos tectónicos y magmáticos correlativos de una expulsión lateral de extensos bloques litosféricos parecen ahora haber jugado papeles significativos. Por ejemplo, probablemente no se trate de una coincidencia si las rotaciones tectónicas antihorarias de más de 30° medidas en la “cuenca Moquegua” (Roperch et al., 2002) y el intenso magmatismo mantélico a lo largo del CECLLA (Fornari et al., 2002) se desarrollaron conjuntamente durante el Oligoceno.

REFERENCIAS

- CARLOTTO V.** (1998).- Evolution andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13°-16°S, Pérou). Ph.D. dissertation, Université de Grenoble, France, 159 p.
- CLARK A.H., KONTAK D.J. & FARRAR E.** (1990).- The San Judas Tadeo W (-Mo, Au) deposit: Permian lithophile mineralization in southeastern Peru. *Economic Geology*, v. 85, p. 1651-1668.
- FORNARI M., MAMANI M., IBARRA I. & CARLIER G.** (2002).- Datación del período volcánico “Tacaza” en el Altiplano de Perú y Bolivia. Resúmen, XI Congreso Peruano de Geología, Lima, p. 21.
- HÉRAIL G., SOLER P., LIZECA J.L. & BONHOMME M.G.** (1993).- Evolution géodynamique de la transition entre l’Altiplano et la Cordillère Orientale au nord d’Oruro (Bolivie): implications sur le déroulement de l’orogénèse. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences de Paris, série II*, v. 317, p. 515-522.
- JACAY J., SEMPERE T., HUSSON L. & PINO A.** (2002).- Structural characteristics of the Incapuquio fault system, southern Peru. V International Symposium on Andean Geodynamics, Toulouse, p. 319-321.
- MAMANI M. & IBARRA I.** (2000).- Magmatismo y tectónica meso-cenozoica del Altiplano y del borde noreste de la Cordillera Occidental de la región de Puno. Tesis de grado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, 82 p.

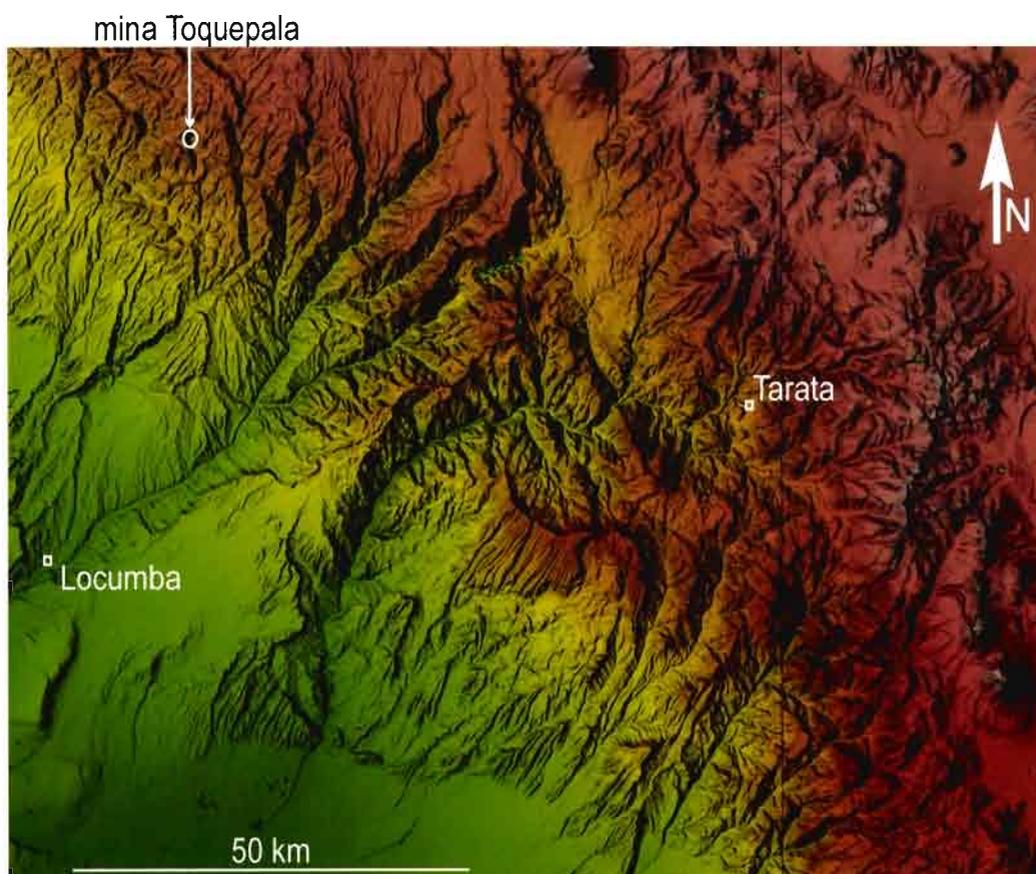


Fig. 4: La imagen topográfica de la región ubicada entre Moquegua y Tacna (NASA, resolución 90 m) muestra que el sistema de fallas Incapuquio (SFIEC) conserva una expresión topográfica muy marcada, sugiriendo que sigue activo.

- NEWELL N.D.** (1949).- Geology of the Lake Titicaca region, Peru and Bolivia. Geological Society of America Memoir 36, 111 p.
- REDWOOD D.S. & MACINTYRE R.M.** (1989).- K-Ar dating of Miocene magmatism and related epithermal mineralization of the northeastern Altiplano of Bolivia. *Economic Geology*, v. 84, p. 618-630.
- ROPERCH P., SEMPERE T., ARRIAGADA C., FORNARI M., MACEDO-SÁNCHEZ O. & TAPIA C.** (2002).- New paleomagnetic constraints on the formation of the Bolivian Orocline. European Geophysical Society, Nice 2002. resumen EGS 02-A-05121.
- ROPERCH P., SEMPERE T., MACEDO O., ARRIAGADA C. & FORNARI M.** (2002).- Counterclockwise rotation of the south Peruvian forearc and implications for the formation of the Bolivian Orocline. *Résumé étendu, V International Symposium on Andean Geodynamics*, Toulouse, p. 545-548.
- SAINT-BLANQUAT M. DE, TIKOFF B., TEYSSIER C. & VIGNERESSE J.-L.** (1998).- Transpressional kinematics and magmatic arcs. In: R.E. Holdsworth, R.A. Strachan & J.F. Dewey (eds), *Continental transpressional and transtensional tectonics*, Geological Society, London, Special Publications, v. 135, p. 327-340.
- SEMPERE T.** (1995).- Phanerozoic evolution of Bolivia and adjacent regions. In: A.J. Tankard, R. Suárez & H.J. Welsink (eds.), *Petroleum basins of South America*, AAPG Memoir 62, p. 207-230.
- SEMPERE T., HÉRAIL G., OLLER J. & BONHOMME M.G.** (1990).- Late Oligocene-early Miocene major tectonic crisis and related basins in Bolivia. *Geology*, v. 18, p. 946-949.
- SEMPERE T., ACOSTA H. & CARLOTTO V.** (2000).- Estratigrafía del Mesozoico y Paleógeno en la región del Lago Titicaca: hacia una solución? X Congreso Peruano de Geología. Lima, p. 52 (abs.) and CD-ROM file GR50A (41 p.).
- SEMPERE T., CARLIER G., SOLER P., FORNARI M., CARLOTTO V., JACAY J., ARISPE O., NÉRAUDEAU D., CÁRDENAS J., ROSAS S. & JIMÉNEZ N.** (2002).- Late Permian - Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*, v. 345, p. 153-181.