

NUEVOS APORTES GEOLÓGICOS EN EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES EN EL SUR DEL PERÚ: ÁREA MAL PASO-PALCA (TACNA)

Adán PINO¹, Thierry SEMPÈRE², Javier JACAY³ & Roberto IANNUZZI⁴

¹ *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; calle Lastenia Rejas, 133 Para Chico, Tacna
(adan_pino@yahoo.com)*

² *I.R.D., La Mariscal 115, San Isidro, Lima (sempere@terra.com.pe)*

³ *EAP Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos,
Av. Venezuela cd. 34 s/n, San Miguel, Lima (J_Jacay@yahoo.com)*

⁴ *Departamento de Paleontología e Estratigrafía, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil (iannuzzi@if.ufrgs.br)*

RESUMEN

El área de Mal Paso-Palca se encuentra a unos 50 km al noreste de la ciudad de Tacna y se enmarca dentro del flanco occidental de la Cordillera de los Andes. Los trabajos de campo iniciados en 1999 han permitido encontrar fósiles diagnósticos, rocas nunca antes reportadas y manifestaciones tectónicas resaltantes. El presente trabajo tiene como finalidad fundamental exponer a la comunidad geológica estos nuevos datos, pues se consideran de suma importancia para una interpretación coherente de la evolución geodinámica del extremo sur del Perú.

Plantas fósiles halladas en lutitas verdosas de la zona de Mal Paso se determinaron como *Nothorhacopteris* cf. *kellybelenensis* y *Tomiodendron* sp. Esta asociación, bien conocida en la península de Copacabana (Bolivia), indica el Misisipiano superior (Viseano superior – Serpukhoviano basal), y demuestra la existencia en Tacna de una serie sedimentaria equivalente al Grupo Ambo. En la costa del Perú, el Misisipiano se conoce también en las zonas de Ocoña-Puerto Viejo y Paracas, y en ésta última se han hallado plantas fósiles similares a las encontradas en el área de Mal Paso-Palca.

Un segundo aporte es la demostración que el vulcanismo triásico-jurásico, interpretado en la zona de estudio como subaéreo (“arco insular”) por estudios anteriores, es en realidad submarino, como lo manifiesta la presencia de coladas basálticas, localmente almohadilladas e interestratificadas con lodolitas calcáreo-silíceas. La unidad basáltica está sobreyacida por algunas calizas fosilíferas, a su vez sobreyacidas por cherts estratificados espesos típicos de ambientes marinos profundos. Este conjunto estratigráfico está recortado por diques y sills basálticos, evidenciando que el magmatismo básico, característico de un adelgazamiento litosférico importante, prosiguió aún cuando la cuenca había llegado a profundizarse notablemente.

En la imagen satelital del área de estudio se observa un rombo estructural conformado por un conjunto de lineamientos y claramente debido a la actividad transcurrente del Sistema de Fallas Incapuquio (SFI). Varias zonas de milonitas (a ultramilonitas) están asociadas con este rombo y con el SFI, evidenciando que una actividad transcurrente intensa desgarró la zona. Cabe resaltar que este tipo de roca nunca antes había sido reportada en el área (habiéndose confundido con “diques de riolitas”), y tampoco los plegamientos apretados que afectan a estratos jurásicos en las cercanías de los vértices del rombo estructural anteriormente mencionado.

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal es trabajar a lo largo del flanco occidental de la Cordillera de los Andes en su parte central (sur del Perú, noreste de Tacna), con el fin de obtener datos que contribuyan en la investigación de la evolución geodinámica de este gran rasgo geomorfológico. Fig. 1.

Esta investigación implica el estudio de los procesos sedimentarios, magmáticos y/o tectónicos preorogénicos y sinorogénicos de esta cadena montañosa; como el desarrollo de la cuenca triásica?-jurásica

de la región de Tacna (Sempere et al., 2002), el emplazamiento de la serie volcano-sedimentaria del Grupo Toquepala o la actividad del Sistema de Fallas Incapuquio (SFI).

Los primeros trabajos de campo han permitido hallar datos geológicos que obligan a modificar las hipótesis evolutivas de estudios anteriores. Cabe resaltar que estas hipótesis se han mantenido estables, sin cambios resaltantes, desde 1962, es decir durante cuarenta años.

FLORA FOSIL CARBONÍFERA

El área de estudio es atravesada por el Sistema de Fallas Incapuquio (SFI), cuya actividad transcurrente ha exhumado, en la zona norte, parte del zócalo precámbrico, así como series sedimentarias antiguas que conforman la parte basal de la pila sedimentaria fanerozoica.

Una de estas series sedimentarias antiguas aflora en una pequeña quebrada sin nombre en la zona de Mal Paso, en forma de un lente tectónico en medio de una zona de milonitas. Esta serie está conformada por una intercalación de calizas, areniscas y lutitas verdosas, cuyo medio ambiente de sedimentación será determinado por un posterior estudio sedimentológico detallado.

Si bien se han encontrado fósiles en los niveles calcáreos (probablemente Myaliniidae), los niveles lutáceos verdosos han sido considerados de mayor importancia. La mayoría de estos niveles contienen una gran cantidad de restos de plantas tales como tallos, ramas con hojas y, en algunos casos, fragmentos de troncos.

Gracias a su buen estado de conservación, la flora fósil estudiada (Fig. 2) ha sido determinada como:

Muestra 13: *Nothorhacopteris* cf. *kellaybelenensis*-

Muestra 14: *Tomiodendron* sp.

Ambas muestras indican el Misisipiano superior (Viseano superior – Serpukhoviano inferior); esta edad difiere de la edad pérmica establecida para esta serie (Fm Machani) en trabajos anteriores.

Estos taxones, sobre todo la especie *Nothorhacopteris* cf. *kellaybelenensis*, han sido reconocidos ampliamente en las zonas de Ocoña-Puerto Viejo y Paracas (Grupo Ambo, costa del Perú) como parte del registro del Reino Florístico de Paracas (Alleman et Pfefferkorn, 1988); así como en la Península de Copacabana (Bolivia) donde se han realizado estudios más detallados sobre una mayor variedad florística (Azcuy et Suárez-Soruco, 1993; Iannuzzi et al, 1993, 1994) hallada en niveles lutáceos verdosos de la Fm Siripaca (miembro superior del Grupo Ambo de Bolivia).

La flora fósil hallada en Mal Paso permite establecer que la serie sedimentaria que la contiene corresponde al Grupo Ambo. La similitud de la flora de Mal Paso con las floras de Paracas y de la Península de Copacabana (Fig. 3) demuestra que el Reino Florístico de Paracas se extendía hasta el extremo sur del Perú. Así mismo, las floras fósiles de la Formación Siripaca y de la zona de Paracas (parte superior del Grupo Ambo en Bolivia y Perú) corresponden al registro de una misma flora de clima templado cálido de edad Viseano tardío-Serpukhoviano temprano (Iannuzzi et al., 1998) por lo cual se puede pensar en un mismo clima para la época de depositación de los sedimentos carboníferos de Mal Paso.

Discusión

La secuencia sedimentaria de Mal Paso anteriormente fue reconocida como el miembro superior de la Fm Machani (Wilson et García, 1962) y asignada al Pérmico (Salinas, 1985). Las determinaciones presentadas en este trabajo establecen que en realidad esta unidad comprende estratos depositados en el Misisipiano superior y por lo tanto pertenecientes al Grupo Ambo.

Este resultado plantea una interrogante con respecto a la edad de la Fm Machani, puesto que el afloramiento existente en el Cerro Machani, que es reconocido como su miembro inferior por descansar sobre el basamento precámbrico de la cuenca, tendría una edad mucho mayor a la establecida en estudios anteriores. En efecto estos sedimentos conforman la parte más basal del relleno de la cuenca y estratigráficamente se encuentran por debajo de los sedimentos misisipianos existentes en Mal Paso.

La presencia del SFI constituye un gran problema para la reconstrucción estratigráfica de las series sedimentarias antiguas existentes en Mal Paso, pues no se sabe con exactitud su rechazo y el espesor de la serie que ha sido recortado debido a su actividad.

VULCANISMO SUBMARINO

En gran parte del área de Mal Paso-Palca se manifiesta la actividad de un vulcanismo triásico-jurásico por la presencia de potentes paquetes de rocas volcánicas basálticas. El origen subaéreo de este vulcanismo, propuesto por Wilson y García en 1962, es el que colocamos en tela de juicio debido a que se han encontrado pruebas suficientes de una actividad submarina.

En la parte superior del curso de la Quebrada Chero, en las cercanías del puesto Aduanero abandonado de Palquilla, se puede observar una sucesión de coladas basálticas, de coloraciones violáceas, que alcanza una potencia considerable (por lo menos varios centenares de metros). En este afloramiento se observa un nivel de lodolitas silíceo-calcáreas, de un espesor aproximado de 0.35 a 0.40 m., depositado sobre una colada de basaltos que presenta una superficie almohadillada.

En la zona de Palca, a lo largo del corte de carretera que atraviesa el flanco noroeste del Cerro Junerata, un buen afloramiento demuestra que la formación homónima corresponde a un vulcanismo submarino. La parte inferior de esta sección muestra una sucesión de coladas basálticas alteradas, gris verdosas a violáceas, cuya parte basal ha sufrido una cataclasis debido a la actividad del SFI (ver más adelante). En la parte superior de esta sucesión volcánica, las coladas basálticas se encuentran, claramente, almohadilladas e interestratificadas con lodolitas silíceo-calcáreas (Fig. 4). En esta zona de interestratificación, el espesor promedio de las coladas disminuye considerablemente. Sobre yaciendo a toda esta unidad basáltica, se tiene un paquete de calizas fosilíferas de aproximadamente 10 m de espesor, donde se encuentran pequeños ejemplares bien conservados de braquiópodos.

Al tope de la sección descrita se tiene una potente sucesión de cherts estratificados (Fig. 5) donde cada paquete tiene un espesor de 0.20 a 0.50 m. Estas rocas presentan coloraciones grises, verdes, rojizas y rosadas. Este tipo de sedimentación es típico de un ambiente marino muy profundo, donde sólo los esqueletos silíceos de radiolarios eran sedimentados.

La parte inferior de esta sección del cerro Junerata presenta una serie de diques basálticos que cortan a la unidad volcánica homónima. En la parte superior de la sección, que comprende los cherts estratificados, se observan sills y diques basálticos y gabroicos, que en algunos casos se hallan mineralizados (mayormente, en cobre).

Discusión

La presencia de niveles de lodolitas silíceo-calcáreas interestratificados con coladas basálticas almohadilladas, de calizas fosilíferas y de cherts estratificados son nuevos datos geológicos que demuestran que la actividad volcánica triásico-jurásica de la región de Tacna se desarrolló en un ambiente submarino, reflejando un proceso de adelgazamiento litosférico importante. Esto obliga a dejar de lado la idea de un contexto continental o de arco insular para la acumulación de estas rocas volcánicas, como había sido inicialmente propuesto por Wilson y García en 1962.

La Fig. 6 ilustra de manera esquemática como la litósfera pudo ser afectada por un proceso distensivo continuo que provocó su adelgazamiento y dio lugar a la formación de una cuenca muy subsidente. Los continuos esfuerzos de tensión ocasionaron la formación de fisuras en gran parte de la cuenca y especialmente en la zona de mayor adelgazamiento. Estas fisuras se comportaron como conductos para el flujo de grandes volúmenes de magmas basálticos provenientes de la fusión parcial del manto. El

enfriamiento brusco producido por la presencia del agua marina originó la formación de almohadillas en la superficie de las coladas, las cuales se cubrían posteriormente de lodolitas silíceo-calcáreas. La disminución de los espesores de las coladas en la parte superior de esta unidad basáltica (Fm Junerata) es un indicativo de una disminución en la intensidad del magmatismo, lo que permitió la sedimentación sobre ella de calizas fosilíferas y otros depósitos.

El continuo adelgazamiento de la litósfera generó una importante subsidencia, marcada por la acumulación de espesores considerables de sedimentos. El fuerte flujo térmico y el propio peso del material depositado sobre el basamento adelgazado y debilitado de la cuenca contribuyó a aumentar todavía más esta subsidencia. El emplazamiento de diques y sills basálticos es una muestra clara de la continuidad del magmatismo básico luego de la sedimentación de las facies de cherts estratificados, lo que demuestra la persistencia del proceso de adelgazamiento litosférico en la cuenca.

RASGOS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA

La actividad transcurrente del Sistema de Fallas Incapuquio (SFI), el cual tiene una orientación ONO-ESE, ha dejado rasgos de diferentes proporciones que muestran su gran intensidad. El trazado de fallas y lineamientos sobre la imagen de satélite de la zona (Fig. 7) muestra la presencia de un rombo estructural. Asimismo, se han podido identificar rocas y estructuras ligadas a esta actividad.

1. Tectonitas (cataclasitas - milonitas)

En la zona de Palca, al noreste de la sucesión volcánica submarina descrita anteriormente (Fm Junerata) y en contacto fallado con ella (presencia de brechas), se observan rocas de aspecto silíceo, de grano muy fino, con coloraciones que varían de gris verdoso a gris y que presentan dentro de su composición unos pequeños cristales angulosos transparentes. Estas rocas conforman una faja que comprende varias ramas. Corresponden a tectonitas por pasar lateralmente a rocas de falla y presentar a menudo facies y microfacies cataclásticas a miloníticas. Esta faja de tectonitas se extiende hasta los alrededores del poblado de Causuri (aprox. 2 km al NE de Palca), donde se encuentran afectadas por un sistema de fracturamiento complejo, que llega a intensidades espectaculares (Fig. 8) y está afectado por kink bands. En medio de dos ramales de esta faja de tectonitas aflora una serie sedimentaria rica en amonites, que identifican el Dogger medio; esta serie se encuentra plegada dando forma a un anticlinal.

En estudios anteriores, estas tectonitas fueron descritas como riolitas (Wilson et García, 1962), probablemente debido a su aspecto silíceo, siendo interpretadas como características de los primeros eventos volcánicos producidos por la actividad de un supuesto arco insular. Esta interpretación, sin embargo, no está sustentada por nuestras observaciones.

En el área de Mal Paso, la quebrada Chero es atravesada por dos fajas de cataclasitas/milonitas. Otras fajas, pero más angostas, han sido encontradas en la zona de Tala y en el flanco izquierdo de la quebrada Ataspa.

Todas estas fajas de tectonitas también fueron descritas anteriormente como diques de riolitas. En algunos casos no se descarta que el protolito de estas tectonitas haya sido efectivamente constituido por rocas de composición riolítica.

2. Plegamientos de Palquilla, Chulpapalca, Palca y Tala

La actividad del SFI no sólo generó fajas de tectonitas sino que también produjo plegamientos localmente intensos en la serie jurásica. En algunos casos, como se pudo observar en los plegamientos de Palca y Chulpapalca, los flancos se encuentran muy apretados en las cercanías del eje.

En los alrededores del poblado de Palquilla, aflora una serie calcárea jurásica plegada que se encuentra cortada por una falla, por lo cual sólo se puede observar uno de los flancos del pliegue. Asimismo, en la zona de Tala, los estratos (probablemente jurásicos) se encuentran muy deformados por este tipo de estructuras.

Discusión

Como se puede apreciar en el mapeo estructural efectuado sobre la imagen satelital de la zona de Mal Paso-Palca, las tectonitas y los plegamientos se ubican en los bordes del rombo estructural formado por el conjunto de lineamientos del SFI; evidentemente, producidos por la actividad del sistema de fallamiento, cuyos rasgos generales y asimetría indican un movimiento predominantemente sinistral.

Las tectonitas observables en los alrededores del poblado de Causuri muestran que estas rocas han sufrido una fuerte fracturación durante su exhumación.

CONCLUSIONES

En la zona de Mal Paso existe una secuencia sedimentaria del Misisipiano Superior (Viseano superior – Serpukhoviano basal), datación basada en una flora fósil bien conservada hallada en niveles lutáceos verdosos. La correlación de estos elementos florísticos con los encontrados en la Fm Siripaca y en la zona de Paracas (miembro superior del Grupo Ambo boliviano y peruano, respectivamente) nos permite establecer la presencia del Grupo Ambo en el área de Mal Paso. Esta afirmación nos obliga a efectuar estudios detallados con la finalidad de reestablecer la estratigrafía de la zona.

La muy subsidente cuenca triásica-jurásica de la franja costera del extremo sur del Perú se originó por procesos de adelgazamiento litosférico. Esta intensa distensión produjo un voluminoso magmatismo basáltico, que fue seguido por una marcada profundización. Las coladas de basalto se encuentran almohadilladas, lo que es típico de un vulcanismo subacuático, e interestratificadas con lodolitas silíceo-calcáreas. La continuidad del proceso distensivo, además de otros factores, provocó una intensa subsidencia en la cuenca, llegando a una profundidad donde se pudo sedimentar un potente paquete de cherts estratificados. Toda esta secuencia volcánico-sedimentaria se encuentra atravesada por diques y sills de naturaleza basáltica y andesítica, señalando la continuidad del emplazamiento de magma básico proveniente del manto superior.

Por último, la estructura regional es dominada por la existencia del SFI en la zona de estudio. En particular se nota que un conjunto de rocas de falla y lineamientos conforman un rombo estructural asimétrico que indica que el funcionamiento del SFI fue mayormente sinistral. La actividad de este sistema ha producido una cataclisis, localmente intensa, a lo largo de fajas que reflejan el funcionamiento de fallas de rumbo. Asimismo, el plegamiento localmente intenso de estratos jurásicos ha sido otra de las consecuencias de dicha actividad.

Las observaciones reportadas en este trabajo demuestran que la todavía poco estudiada región de Tacna está recién proporcionando datos de suma importancia para la comprensión de la historia geológica del sur del país, y por lo tanto merece una atención especial por parte de las investigaciones en curso.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo forma parte del convenio ejecutado entre la Universidad Nacional Jorge Basadre de Tacna, representada por la Escuela de Ingeniería Geológica-Geotécnica, y le Institut de Recherche pour le Développement de Francia (IRD), por lo cual agradecemos a ambas instituciones por su interés al desarrollo de la investigación científica en la Región Sur del Perú.

Parte de la información con la que se dispuso para la ejecución del presente artículo fue recolectada durante la ejecución de la primera escuela de campo organizada por el convenio en el año 2000. Es por esto que agradecemos a los organizadores y a cada uno de los participantes en dicho evento.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEMAN, V. (1991).- Presencia de Myaliniidae (Mollusca, Bivalvia) en la serie carbonífera de Paracas (Pisco- Dpto. de Ica). VII Congreso Peruano de Geología, 399-400.
- DEMANT, A. & FORNARI, M. (1999)- La dinámica de las erupciones volcánicas explosivas. Cursillo dado en la UNSAAC de Cusco.
- IANNUZZI, R. & RÖSLER, O. (2000).- Floristic migration in South America during the Carboniferous: phytogeographic and biostratigraphic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 161 (2000) 71-94, Elsevier Science B.V.
- IANNUZZI, R., PFEFFERKORN, H., DIAZ-MARTINEZ, E., ALLEMAN, V. & SUAREZ-SORUCO, R. (1998).- La Flora eocarbonífera de la Formación Siripaca (Grupo Ambo, Bolivia) y su correlación con la flora de Paracas (Grupo Ambo, Perú). *Bol. Soc. Geol. Perú*, 88, 39-51.
- IANNUZZI, R., DIAZ-MARTINEZ, E. & SUAREZ-SORUCO, R. (1999).- Los elementos florísticos de la Formación Siripaca (Grupo Ambo, Bolivia) y su contexto bioestratigráfico. *Instituto de Geociencias, UFRGS-Pesquisas*, 26, 21-40.
- NUÑEZ DEL PRADO, H. (1991).- Análisis sedimentológico preliminar, y paleoambiente de sedimentación de la serie carbonífera de Paracas (Ica-Perú). VII Congreso Peruano de Geología.
- SALINAS, E. (1985).- “Evolución paleogeográfica del Sur del Perú a la luz de los métodos de análisis sedimentológico de las series del Departamento de Tacna”. Tesis de grado, UNSA, Arequipa.
- SEMPERE, T., JACAY, J., FORNARI, M., PINO, A., FLORES, A., ACOSTA, J., BEDOYA, C., ROPERCH, P., BARRIGA, J. (2002).- Estructura tectónica del extremo sur del Perú, y posibles aplicaciones. XI Congreso Peruano de Geología, en el presente volumen.
- SEMPERE, T., JACAY, J., PINO, A., FORNARI, M., MAROCCO, R., FLORES, A., ACOSTA, J., BEDOYA, C. (2002).- Adelgazamiento litosférico triásico-jurásico en el extremo sur del Perú. XI Congreso Peruano de Geología, en el presente volumen.
- VICENTE, J.C. (1981).- Elementos de la estratigrafía mesozoica sur-peruana. In: W. Volkheimer & E. Musacchio (eds.), *Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur*, Buenos-Aires, v. 1, p. 319-351.
- WILSON, J. & GARCIA, W. (1962).- Carta Geológica Nacional, Cuadrángulos de Pachia y Palca.

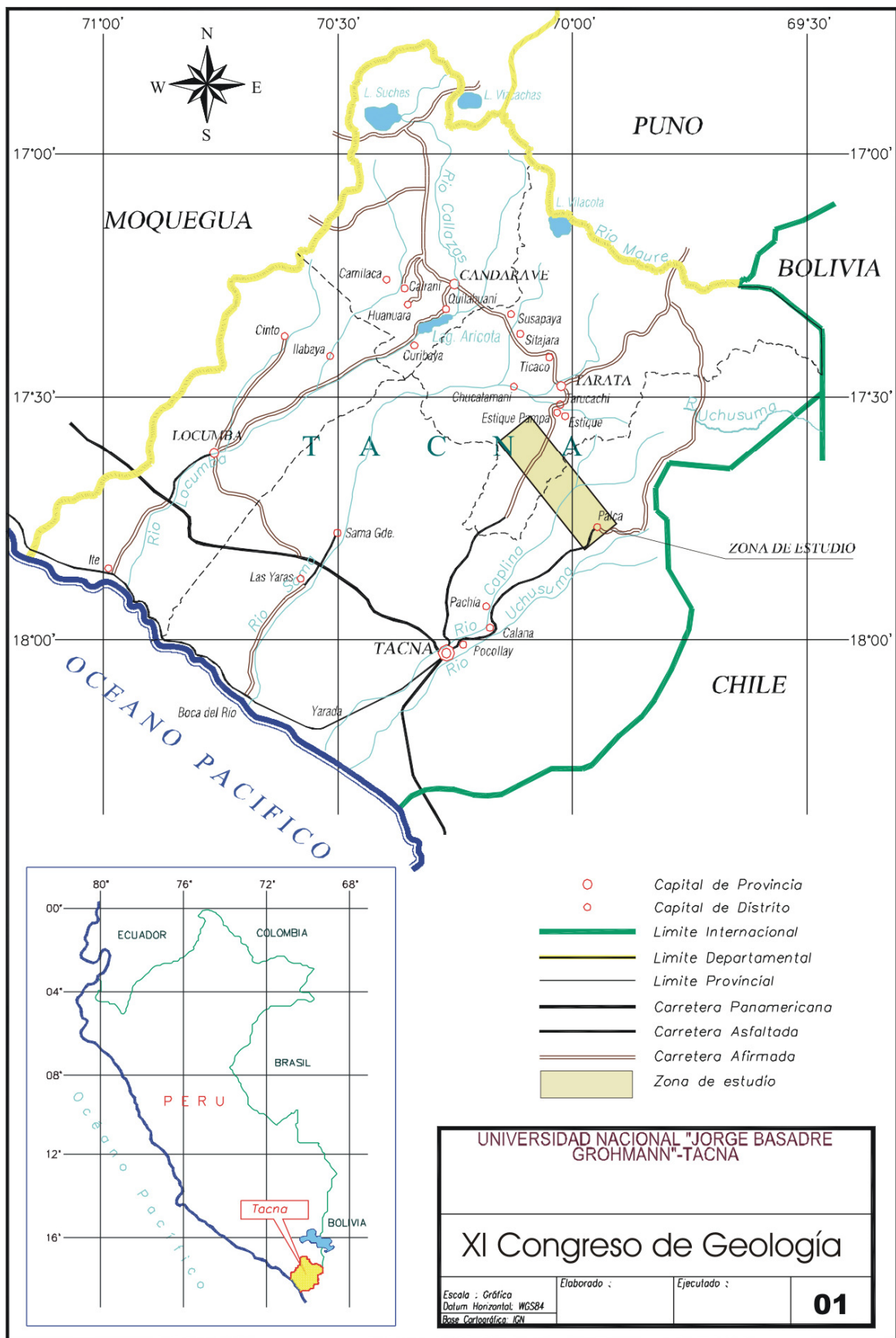


Fig. 1: Ubicación del Estudio



Fig. 2: Flora fósil, Zona de Mal Paso

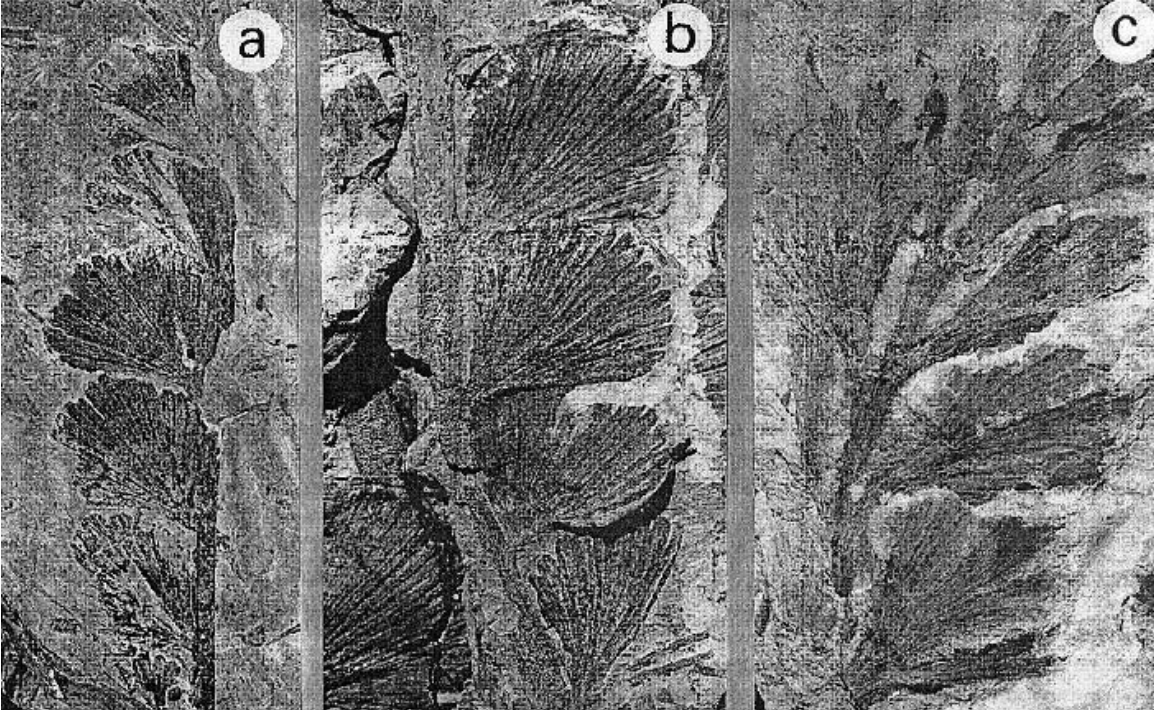


Fig. 3: Flora fósil, Paracas y Península de Copacabana



Fig. 4: Coladas Basálticas interestratificadas con lodolitas



Fig. 5: Sucesión de cherts estratificados

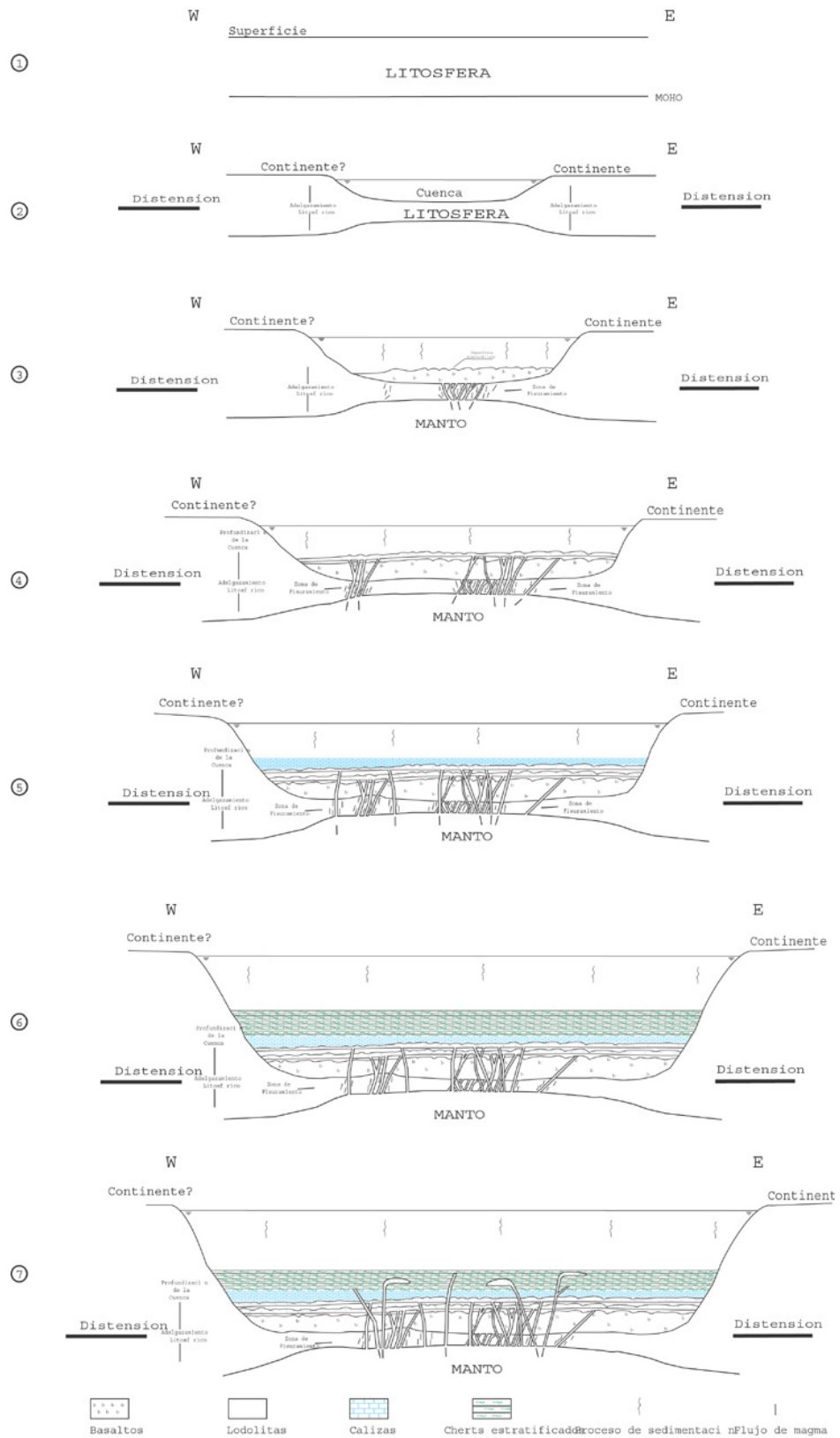


Fig. 06 Adelgazamiento litosférico de la cuenca Triásica?

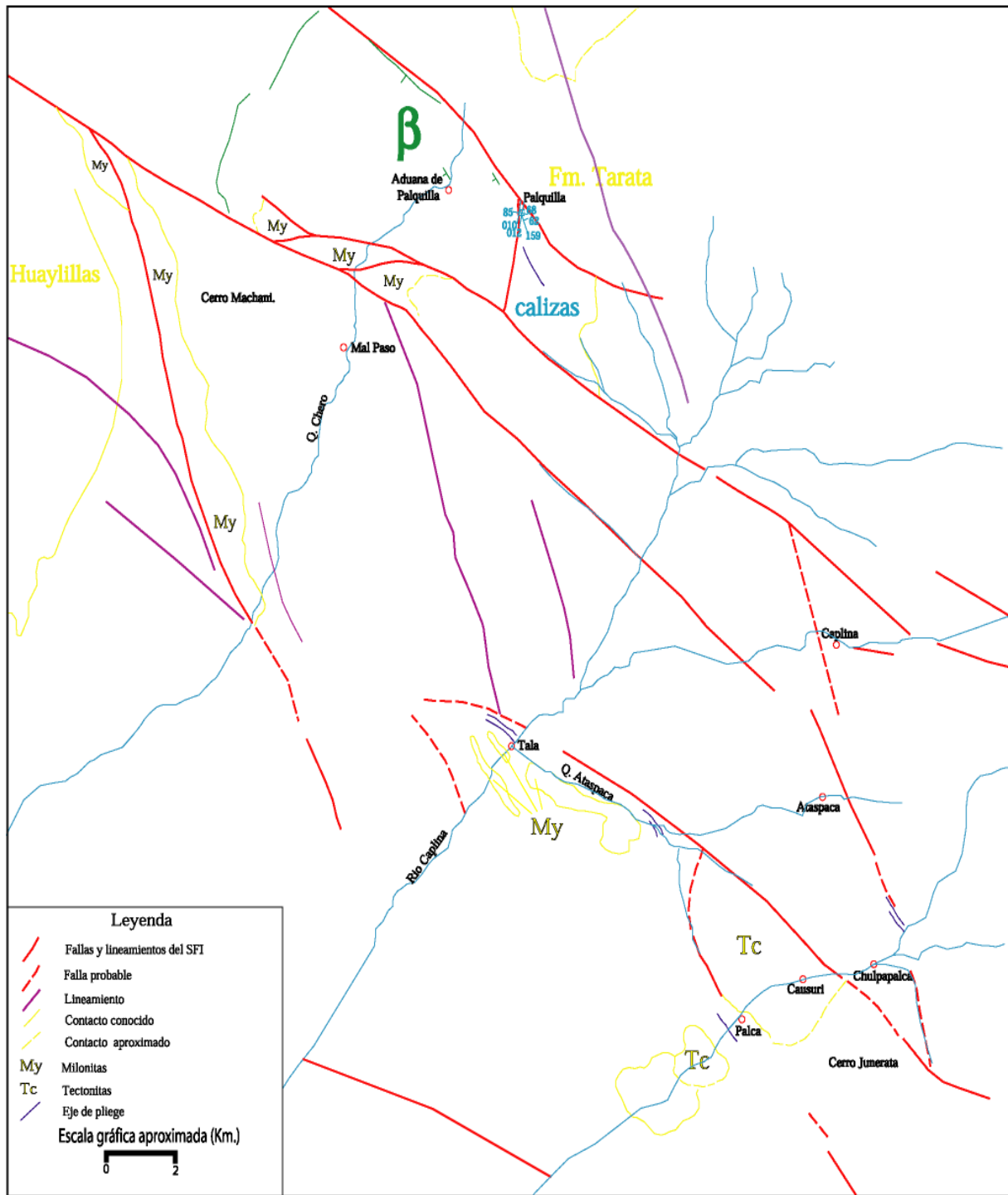


Fig. N° 07 Rombo estructural formado por fallas y lineamientos del Sistema de Fallas Incahuasi (SFI). La presencia de milonitas y plegamientos también esta ligada a la actividad transcurrente de este sistema



Fig. 8: Sistemas de fracturamiento complejo