

ESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN PALEÓGENA DEL ÁREA DE LLALLI - MACARI (DEPARTAMENTO DE PUNO)

O. Omar LATORRE¹, F. Yovani ORÓS¹, Thierry SEMPÈRE²,
Michel FORNARI³ & Víctor CARLOTTO⁴

¹ Convenio IRD-UNSAAC, Av. de la Cultura 733, Cusco. E-mail: omlat@hotmail.com.pe

² IRD, apartado postal 18-1209, Lima 18. E-mail: Thierry.Sempere@ird.fr

³ IRD y Laboratoire de Géochronologie, UMR 6526 Géosciences Azur, Université de Nice - Sophia Antipolis, 06108 Nice cedex 02, Francia. E-mail: Michel.Fornari@unice.fr

⁴ Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Departamento Académico de Geología, Av. de la Cultura 733, Cusco. E-mail: carlotto@unsaac.edu.pe

RESUMEN

El área de Macari-Llalli está dividida en dos dominios tectonoestratigráficos por el sistema de fallas PucaPuca-Sorapata (SFPS). Los estratos paleógenos presentes en el área consisten de las formaciones Chilca y Anta (dominio suroeste) y del Grupo San Jerónimo (dominio noreste), el cual abarca las formaciones K'ayra y Soncco. Todas estas unidades presentan características similares a las de la región de Cusco. Los sistemas fluviales activos durante la acumulación del Grupo San Jerónimo (dominio noreste) estuvieron mayormente drenados de sur a norte, mientras que los ríos activos durante la acumulación de la Formación Anta (dominio suroeste) se dirigían del noroeste hacia el sureste. El SFPS estuvo activo durante la sedimentación, especialmente durante la acumulación de la Formación Soncco, donde se observan discordancias progresivas, y hasta el Mioceno inferior. La discordancia angular que separa las formaciones Chilca y Anta en el dominio suroeste se elaboró aproximadamente en el Eoceno inferior a medio.

ABSTRACT

The Macari-Llalli area is divided in two tectonostratigraphic domains by the PucaPuca-Sorapata fault system (SFPS). The Paleogene strata present in the area consist of the Chilca and Anta formations (SW domain) and of the San Jerónimo Group (NE domain), which comprises the K'ayra and Soncco formations. All these units present characteristics that are similar to those in the Cusco region. The fluvial systems active during the accumulation of the San Jerónimo Group (NE domain) were mainly drained from south to north, whereas the rivers active during the accumulation of the Anta Formation (SW domain) flowed from northwest to southeast. The SFPS was active during sedimentation, especially during the accumulation of the Soncco Formation, which includes growth strata, and until the Early Miocene. The angular unconformity that separates the Chilca and Anta formations in the SW domain was created approximately in the Early to Middle Eocene.

INTRODUCCIÓN

Entre Cusco y Puno afloran espesores considerables de "Capas Rojas", que sobrepasan comúnmente 5000 m. Estos estratos principalmente arenosconglomerádicos son de origen continental y pertenecen en su mayor parte a los grupos San Jerónimo (región de Cusco) y Puno (región de Puno), y a otras unidades coétaneas. La acumulación de estas unidades paleógenas muy espesas plantea interrogantes geológicas que han sido el objeto de varios estudios (Noblet, 1985; Córdova, 1986; Noblet et al., 1987; Marocco & Noblet, 1990; Carlotto, 1998). El presente trabajo representa una nueva contribución sobre este tema.

La zona de estudio está ubicada al límite de los departamentos de Cusco y Puno (Fig. 1), al sur-sureste del sinclinal de Sicuani que fue anteriormente estudiado por Noblet (1985). El sistema de fallas PucaPuca-Sorapata

(SFPS), aproximadamente orientado noroeste-sureste, divide el área de estudio en dos dominios estructurales que presentan estratigrafías cenozoicas algo diferentes (Figs. 2 y 3). El elemento mayor de este sistema es una falla inversa de vergencia noreste, a lo largo de la cual no es raro encontrar bloques de calizas arrastrados desde la subyacente Formación Ayabacas (Latorre y Orós, 2000).

EL PALEÓGENO EN EL DOMINIO NORESTE: GRUPO SAN JERÓNIMO

Cronoestratigrafía

En el dominio noreste, el área de afloramiento de las "Capas Rojas" presenta una forma romboédrica orientada noroeste-sureste (Fig. 3). Esta unidad, asimilada al Grupo San Jerónimo en este trabajo, comprende más de 5000 m de capas rojas continentales, y descansa en

discontinuidad sedimentaria sobre la Formación Ayabacas y/o el Grupo Vilquechico (Cretáceo superior a Paleoceno). En el área de estudio se puede dividir en 5 miembros, respectivamente descritos como miembros A, B, C, D y E.

Al norte, tanto el Grupo San Jerónimo como la Formación Ayabacas están intruidos por un cuerpo de sienogranito; pese a que proporcionó una edad aparente K-Ar de ~52.7 Ma (Audebaud, inédito), un nuevo intento de volver a datar este plutón por un método más seguro resultó imposible por la alteración que presenta el macizo. Por lo tanto la edad mencionada se tiene que considerar como dudosa.

Al oeste de Macari, una colada basáltica alcalina que marca convencionalmente el tope del Grupo San Jerónimo proporcionó una edad K-Ar de 24.0 ± 0.8 Ma que está en acuerdo con otras dataciones obtenidas en el área vecina de Ayaviri sobre rocas similares (Mamani et al., 2004 [este volumen]).

Estas relaciones y dataciones hacen que el Grupo San Jerónimo del área de estudio abarque por lo menos el Eoceno y Oligoceno, y tal vez parte del Paleoceno, y autorizan calificarlo como paleógeno.

Litologías y ambientes sedimentarios

La descripción de facies (Latorre y Orós, 2000) se basó en la clasificación de Miall (1977, 1996). El Grupo San Jerónimo consiste de conglomerados (Gms. Gm y Gt) que fueron depositados en conos aluviales o como relleno de canales y barras longitudinales de medios fluviales; de areniscas (St, Sh, Sx, Sm, Se y Sr) fluviales; de pelitas (Fm) de llanura de inundación; de escasas calizas (C) lacustres; y de algunas areniscas tobáceas (V) en la parte cuspidal del grupo.

Reseña de la evolución sedimentaria

El estudio detallado del registro sedimentario (Latorre & Orós, 2000) evidenció las siguientes características faciales para los cinco miembros del Grupo San Jerónimo en el dominio noreste:

- El miembro A (375 - 705 m) consiste de areniscas fluviales y pelitas de llanura de inundación.
- El miembro B (1177 - 1715 m) se compone de conglomerados, areniscas de ríos entrelazados y canales,

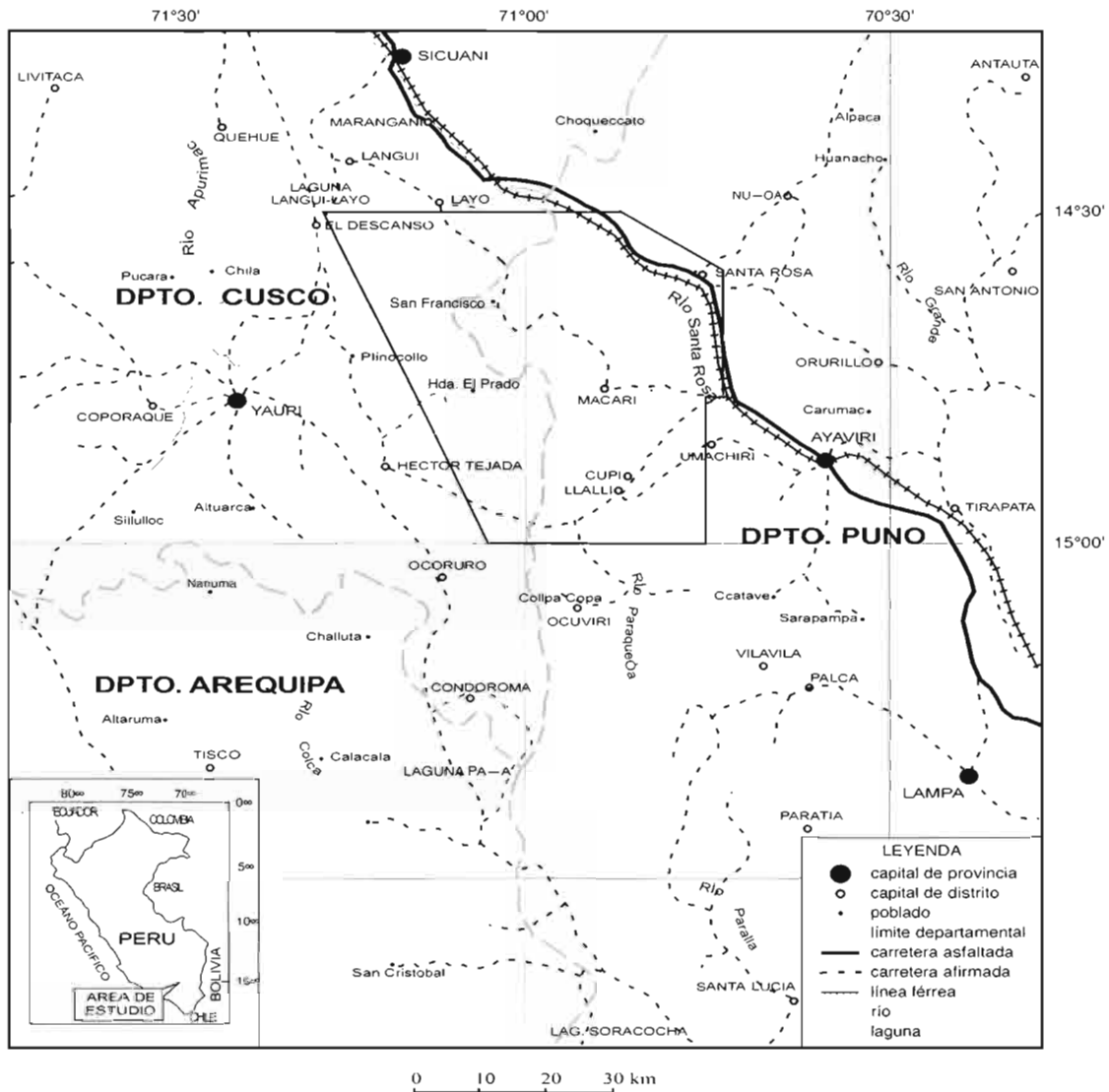


Fig. 1: Mapa de ubicación y accesibilidad de la zona de estudio

y pelitas de llanura de inundación.

- El miembro C (1050 - 1265 m) comprende esencialmente areniscas fluviales de canales entrelazados y pelitas de llanura de inundación.
- Los miembros D (440 - 1373 m) y E (355 - 1040 m) presentan facies similares: conglomerados de conos aluviales y ríos de canales entrelazados, areniscas de medios fluviales, pelitas de llanura de inundación y calizas lacustres. Cerca del techo del miembro E se observan areniscas tobáceas.

En la zona de estudio, el Grupo San Jerónimo presenta claramente una organización secuencial en dos megasecuencias grano- y estrato-crecientes. Esta organización es clásica en las regiones de Cusco y Sicuani, donde la megasecuencia inferior se describe como Formación K'ayra mientras que la superior constituye la Formación Soncco (Córdova, 1986; Carlotto, 1998). En el área de estudio, la Formación K'ayra consiste de los miembros A y B del Grupo San Jerónimo, y la Formación Soncco, de sus miembros C, D y E. Estos miembros pueden correlacionarse dentro del dominio noreste (Fig. 4).

La evolución del área de depositación se puede dividir en dos grandes períodos, que corresponden a las mencionadas formaciones K'ayra y Soncco. El primer período comenzó con la iniciación del funcionamiento de la cuenca, quizás en el Eoceno basal, cuando se instalaron ríos trenzados areno-conglomerádicos con aportes desde el sur y este. Los depósitos del miembro A rellenan paleorelieves cavados en calizas de la Formación Ayabacas y, al parecer, en pelitas del Grupo Vilquechico. Al norte, los sedimentos fluviales de la base de este miembro se depositaron en ríos entrelazados conglomerádicos que fluían desde el este hacia el noroeste. Al sur, los depósitos fluviales coetáneos eran más arenosos.

El registro proporcionado por el miembro B comprueba que fue depositado en un ambiente fluvial donde el material conglomerádico era abundante. El sistema fluvial provenía al inicio del sureste y se dirigía hacia el nor-noroeste. Sin embargo nuevas zonas de aporte aparecieron posteriormente al nor-noroeste, reflejando probablemente la creación de relieves activos en esta dirección y provocando una sensible reorientación del esquema de drenaje; aparentemente dos sistemas de ríos se desarrollaron, uno procedente del noroeste y otro del sur. La tasa promedio de sedimentación parece haber sido más importante al sur que al norte.

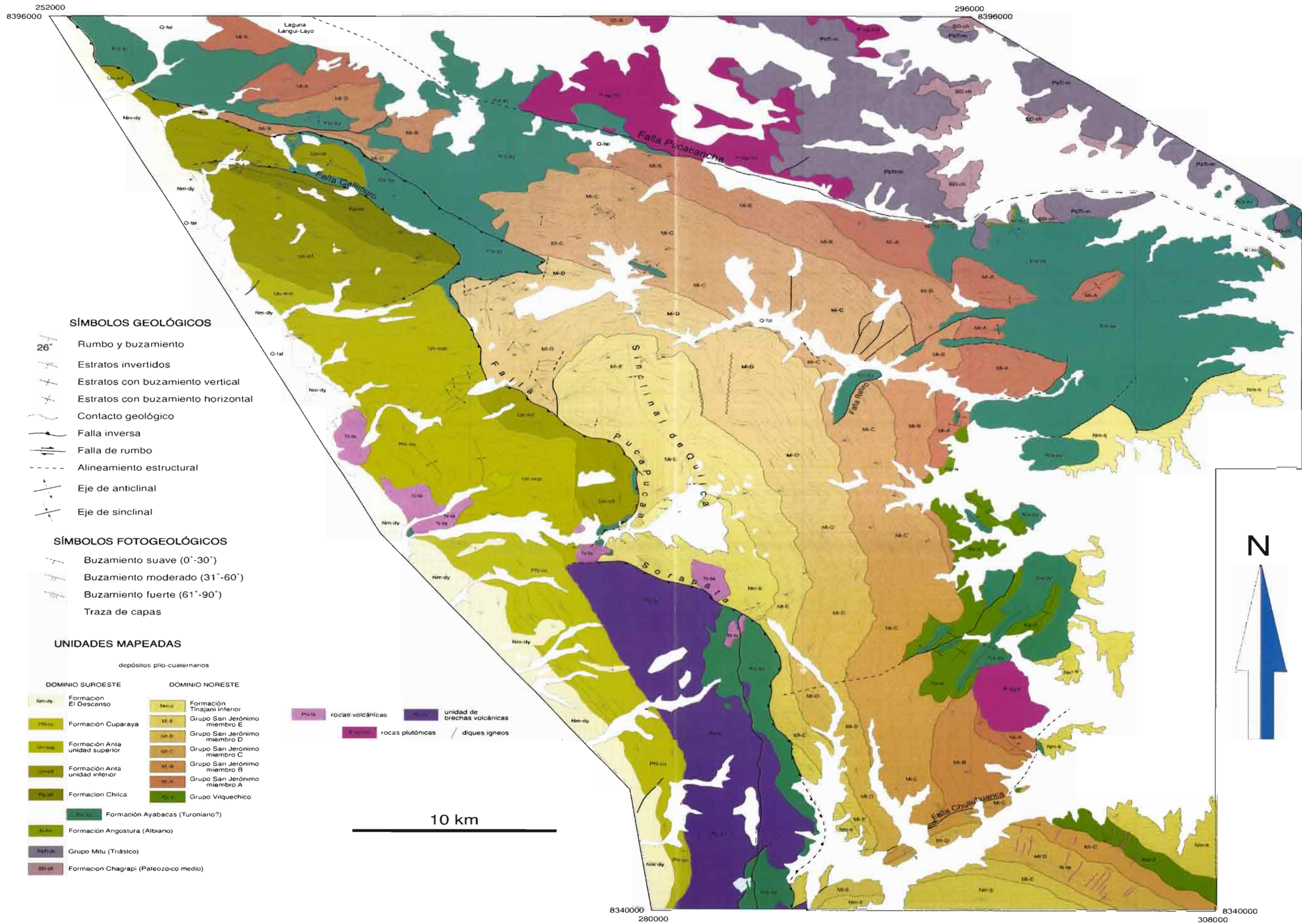
El segundo período de evolución, que corresponde a la Formación Soncco, está caracterizado por la actividad sinsedimentaria del sistema de fallas PucaPuca-Sorapata (SFPS). Esta actividad entrampó al este del SFPS un sistema sedimentario compuesto en el sur por ríos trenzados conglomerádicos, procedentes del sur, y en el norte por un ambiente más distal, fluvio-lacustre. Cerca del SFPS y de los relieves creados por su actividad, se desarrollaron conos aluviales y ríos conglomerádicos proximales, y localmente pequeños lagos. En forma general, el material sedimentario provenía del sur y se dirigía hacia el nor-noreste.

Dentro de este esquema, el miembro C se acumuló en un sistema fluvial con canales entrelazados que provenía del sur. Hacia el norte se desarrolló un sistema fluvial secundario, de canales divagantes, y una zona de lagunas. En la zona proximal del sur se registra una mayor tasa de sedimentación, y luego de subsidencia, probablemente por la activación de un sistema de fallas en este área.

Los miembros D y E presentan una paleogeografía

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	DOMINIO NORESTE		DOMINIO SUROESTE		MAGMATISMO	
			UNIDAD	LITOLOGÍA	UNIDAD	LITOLOGÍA	VULCANISMO	PLUTONISMO
CENOZOICO	CUATERNARIO		DEPOSITOS ALUVIALES		DEPOSITOS ALUVIALES			
			DEPOSITOS MORRENICOS	UUUUUU	DEPOSITOS MORRENICOS	UUUUUU		
	NEÓGENO	PLIOCENO	unidad Collana					
		MIOCENO	FORMACIÓN TINAJANI					
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	GRUPO SAN JERÓNIMO	mbro. E		Formación El Desembo		
				mbro. D		Formación Cuparaya		
				mbro. C		unidad superior		
		EOCENO	FORMACIÓN K'AYRA	mbro. B		unidad inferior		
				mbro. A		FORMACIÓN CHILCA		
	PALEOCENO							
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	GRUPO VILQUECHICO		FORMACIÓN AYABACAS			
		INFERIOR	FORMACIÓN AYABACAS					
	TRIÁSICO		GRUPO MITU					
PALEOZOICO	SILURO-DEVONIANO		FORMACIÓN CHAGRAPI					

Fig. 2: Columnas estratigráficas generales para el área de estudio



similar. Al sur sigue funcionando un sistema fluvial, pero ahora parcialmente alimentado por conos aluviales: las paleocorrientes son bastante variables, con cierta tendencia hacia el norte. Al norte las facies conglomerádicas se hacen más finas, y la tasa de sedimentación es ahora más importante que al sur. Esta evolución debe de reflejar una actividad tectónica importante, lo que es ratificado por la presencia de discordancias progresivas (Fig. 3) y voluminosos aportes conglomerádicos desde el oeste a suroeste.

En realidad la evolución registrada por el Grupo San Jerónimo continua con la Formación Tinajani, cuya base está convencionalmente marcada por una colada básica alcalina (basanita) datada en 24.0 ± 0.8 Ma. En el área de estudio, esta unidad consiste mayormente de depósitos conglomerádicos a arenosos (Fig. 2) espesos

de ~700 m. Sólo está presente la parte inferior de la Formación Tinajani puesto que no se observan el nivel de ignimbritas, datadas en ~19-17 Ma, que separa convencionalmente sus miembros inferior y superior (Ibarra et al., 2004 [este volumen]). La finalización de la deformación principal debida a la actividad del SFPS, que separa los dos dominios tectosedimentarios reconocidos en el área de estudio, es posterior a la Formación Tinajani inferior, y anterior a la Formación El Descanso que aflora subhorizontalmente al oeste. Dado la edad estimada para la base de ésta (Cerpa et al., 2004 [este volumen]), esta deformación terminó entre ~23 y ~20 Ma.

Correlaciones con las áreas de Sicuani y Cusco

Las características estratigráficas del Grupo San

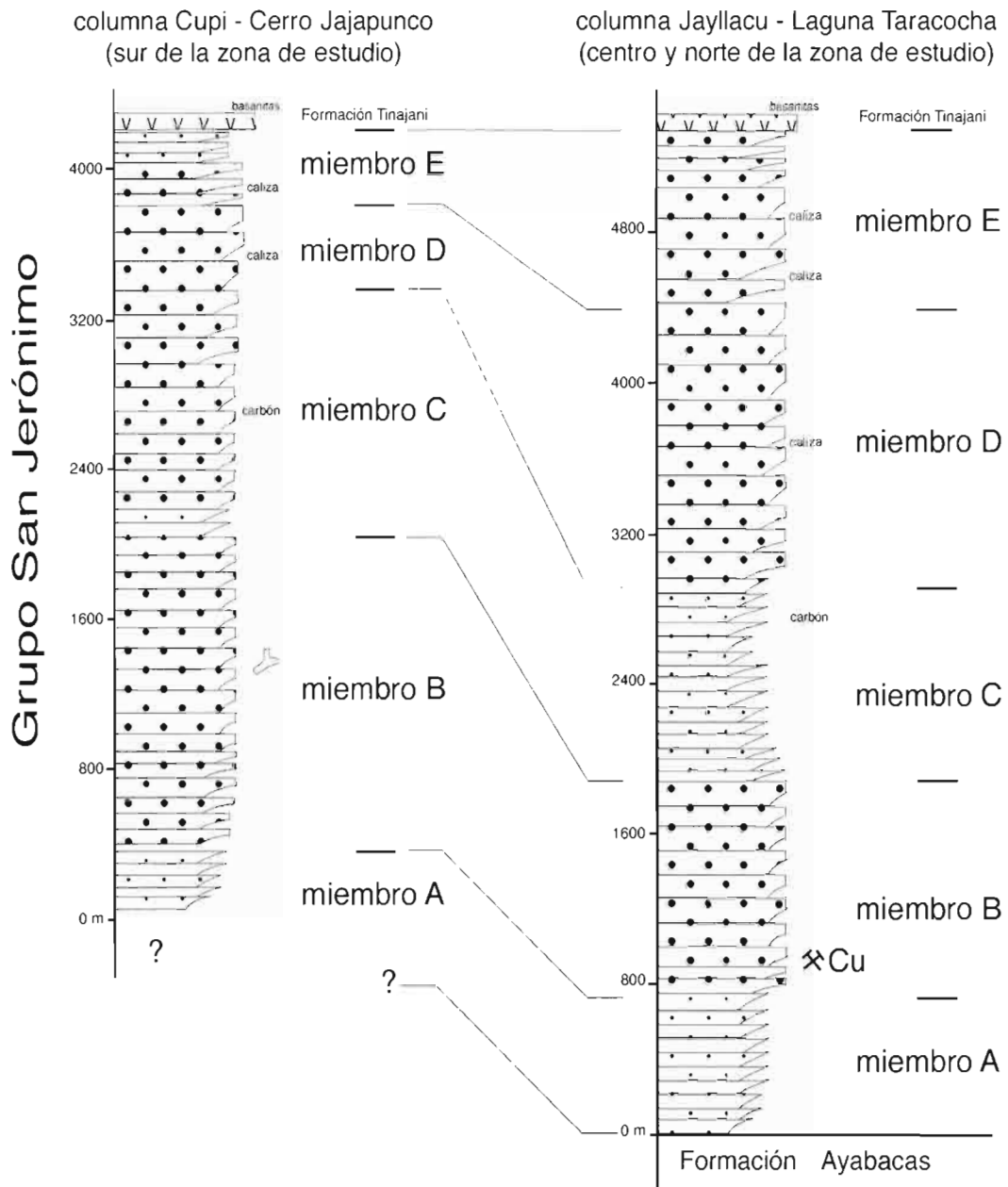


Fig. 4: Correlación estratigráfica de las capas rojas del Grupo San Jerónimo

Jerónimo en las áreas de Macari-Llalli, Sicuani y Cusco permiten proponer correlaciones regionales (Fig. 5). Las dos formaciones K'ayra y Soncco, que conjuntamente conforman el Grupo San Jerónimo, fueron definidas en el área de Cusco (Córdova, 1986; Carlotto, 1992, 1998). Como se expuso más arriba, los miembros A y B se correlacionan con la Formación K'ayra, mientras que los miembros C, D y E se correlacionan con la Formación Soncco. Cabe subrayar que en esta zona la Formación Soncco registra una importante actividad tectónica sinsedimentaria, similar a la que se observa en los miembros D y E de la zona de estudio.

En la región de Sicuani afloran "Capas Rojas" de origen esencialmente fluvial, que conforman una estructura sinclinal orientada NNO-SSE. Estas "Capas Rojas" han

sido divididas en 10 secuencias, denominadas A a J, que, por tratarse del primer estudio de esta unidad, se agruparon en una sola megasecuencia (Noblet et al., 1987; Marocco & Noblet, 1990). Estos autores distinguieron tres períodos en la evolución registrada:

- Un primer período corresponde a las secuencias A, B, C, D y E. Se caracteriza por una predominancia de sedimentos detríticos finos y luego de un ambiente de llanura de inundación, en un extenso sistema fluvial donde los ríos corrían aproximadamente de sur a norte.
- Un segundo período corresponde a las secuencias F y G. En este intervalo de tiempo ríos cargados por clastos invadieron la cuenca hacia el norte y noroeste. Se observan estructuras tectónicas sinsedimentarias y una actividad volcánica contemporánea.

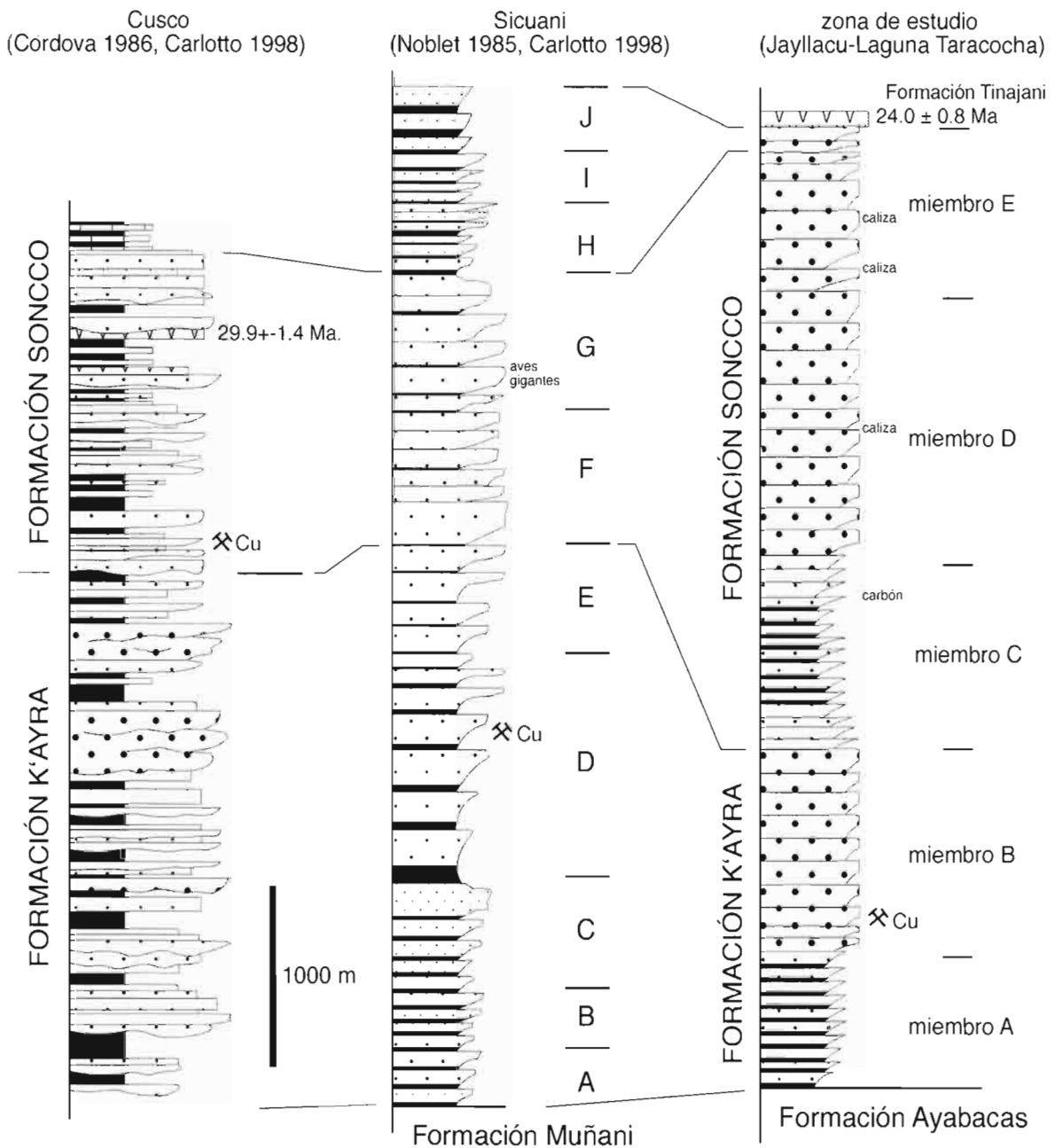


Fig. 5: Correlaciones estratigráficas entre las regiones de Cusco, Sicuani y Llalli-Macari (zona de estudio)

• Un tercer período corresponde a las secuencias H, I, y J. Se observa un retorno de los ambientes distales, que Noblet et al. (1987) atribuyeron a una calma tectónica y volcánica.

Se comprueba que el conjunto formado por los miembros A y B del Grupo San Jerónimo del área de estudio (Formación K'ayra) presenta una evolución similar al conjunto formado por las secuencias A, B, C, D y E de Sicuani (también atribuido a la Formación K'ayra). Similarmente, el conjunto formado por los miembros C, D y E del área de estudio (Formación Soncco) son comparables al conjunto formado por las secuencias F y G de Sicuani (también atribuido a la Formación Soncco). Las secuencias H, I y J de Sicuani, de grano promedio más fino, parecen corresponder a un intervalo ubicado bajo el techo del miembro E. Un mapa paleogeográfico abarcando el área de estudio y el sinclinal de Sicuani comprueba que el sistema fluvial regional corría aproximadamente de sur a norte, recibiendo aportes desde el sureste y especialmente suroeste (Fig. 6).

EL PALEÓGENO EN EL DOMINIO SUROESTE : FORMACIONES CHILCA Y ANTA

Introducción

Este dominio está cubierto al suroeste por la Formación El Descanso, de edad miocena (Cepa et al., 2004 [este volumen]) y separado del dominio noreste por el sistema de fallas PucaPuca-Sorapata (SFPS). Las unidades paleógenas presentes son las formaciones Chilca y Anta, ambas de origen continental, que en conjunto representan un espesor sedimentario superior a 4500 m. La Formación Anta sobreyace a las formaciones Ayabacas y Chilca con una discordancia angular. Las edades respectivas de las formaciones Chilca y Anta permiten considerar que la discordancia que las separa se desarrolló aproximadamente en el Eoceno inferior a medio.

Formación Chilca

Por sus características faciales y estratigráficas, se reconoció en el área de estudio la Formación Chilca de la región de Cusco, donde es de edad Paleoceno-Eoceno inferior. En la zona de estudio, la Formación Chilca se puede dividir en 3 secuencias:

- La secuencia A (230 m) consiste de pelitas y limolitas rojas, verdes y moradas (facies Fm), que fueron depositadas en llanuras de inundación; de calizas (C) lacustres; y de areniscas (Sh) fluviales.
- La secuencia B (400 m) se compone de areniscas y microconglomerados (St, Sh y Sx) fluviales, y de pelitas y limolitas rojas (Fm) de llanura de inundación.
- La secuencia C (240 m) consiste de conglomerados

(Gt) organizados en canales, y de areniscas y pelitas rojas (St y Fm); en conjunto estos sedimentos se depositaron en ríos entrelazados con llanuras de inundación.

La Formación Chilca presenta una organización secuencial claramente grano- y estrato-creciente; que se interpreta como producto de la progradación de ríos entrelazados areno-conglomerádicos sobre barreales y áreas lacustres. Las paleocorrientes disponibles sugieren que estos ríos corrían hacia el este (Latorre & Orós, 2000).

Formación Anta

Por sus características faciales y estratigráficas, se reconoció en el área de estudio la Formación Anta definida en la región de Cusco (Carlotto, 1998), donde es mayormente conglomerádica. En esta área, dataciones K-Ar obtenidas sobre coladas volcánicas intercaladas en su parte inferior media (38.4 ± 1.5 Ma y 37.9 ± 1.4 Ma) y cerca de su techo (29.9 ± 1.1 Ma) evidencian que la Formación Anta es de edad Eoceno medio-Oligoceno inferior (Carlotto, 1998). En el área de estudio, el techo de la Formación Anta está intruido por domos volcánicos datados (K-Ar) en 30.5 ± 1.6 Ma y 28.9 ± 0.8 Ma (Mamani et al., 2004 [este volumen]), confirmando que la unidad es anterior al Oligoceno superior.

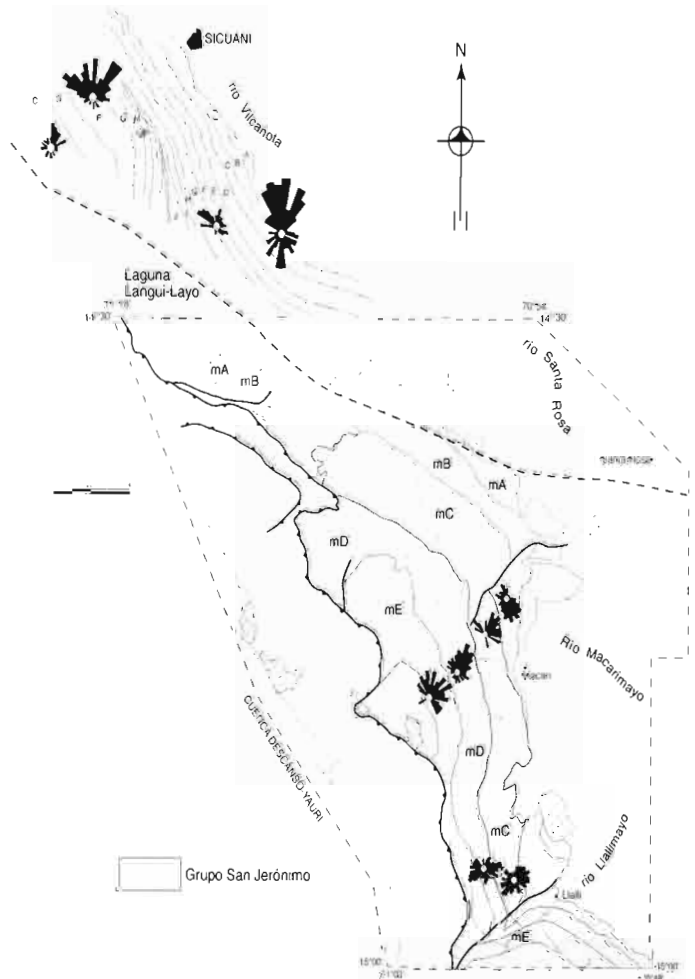


Fig. 6: Esquema paleogeográfico para el Eoceno-Oligoceno (Grupo San Jerónimo) abarcando el área de Sicuani y la zona de estudio

La Formación Anta consiste de conglomerados (Gms, Gm y Gt) que fueron depositados en conos aluviales, ríos proximales, canales y barras longitudinales de ríos; y de areniscas (St, Sm y Sh), pelitas y limolitas (Fm) que se depositaron en ríos entrelazados fluviales y llanuras de inundación asociadas. Las paleocorrientes disponibles (Latorre & Orós, 2000) sugieren que el drenaje principal estaba orientado del noroeste al sureste.

La Formación Anta se puede dividir en una unidad inferior grano-creciente y una unidad superior grano- y estrato-decreciente. La unidad inferior (1300 m) comprende esencialmente conglomerados y areniscas que

corresponden a abanicos aluviales y ríos proximales a distales; durante este intervalo de tiempo, que se supone empezó en el Eoceno medio como en Cusco, se desarrollaron conos aluviales y ríos conglomerádicos proximales que corrían hacia el sureste. La unidad superior (758 m) consiste de conglomerados de conos aluviales y ríos proximales, areniscas fluviales y pelitas de llanura de inundación; este intervalo estuvo dominado por la actividad de ríos areno-conglomerádicos que seguían corriendo principalmente hacia el sureste, y que evolucionaron luego a ríos arenosos por la retrogradación de las facies proximales.

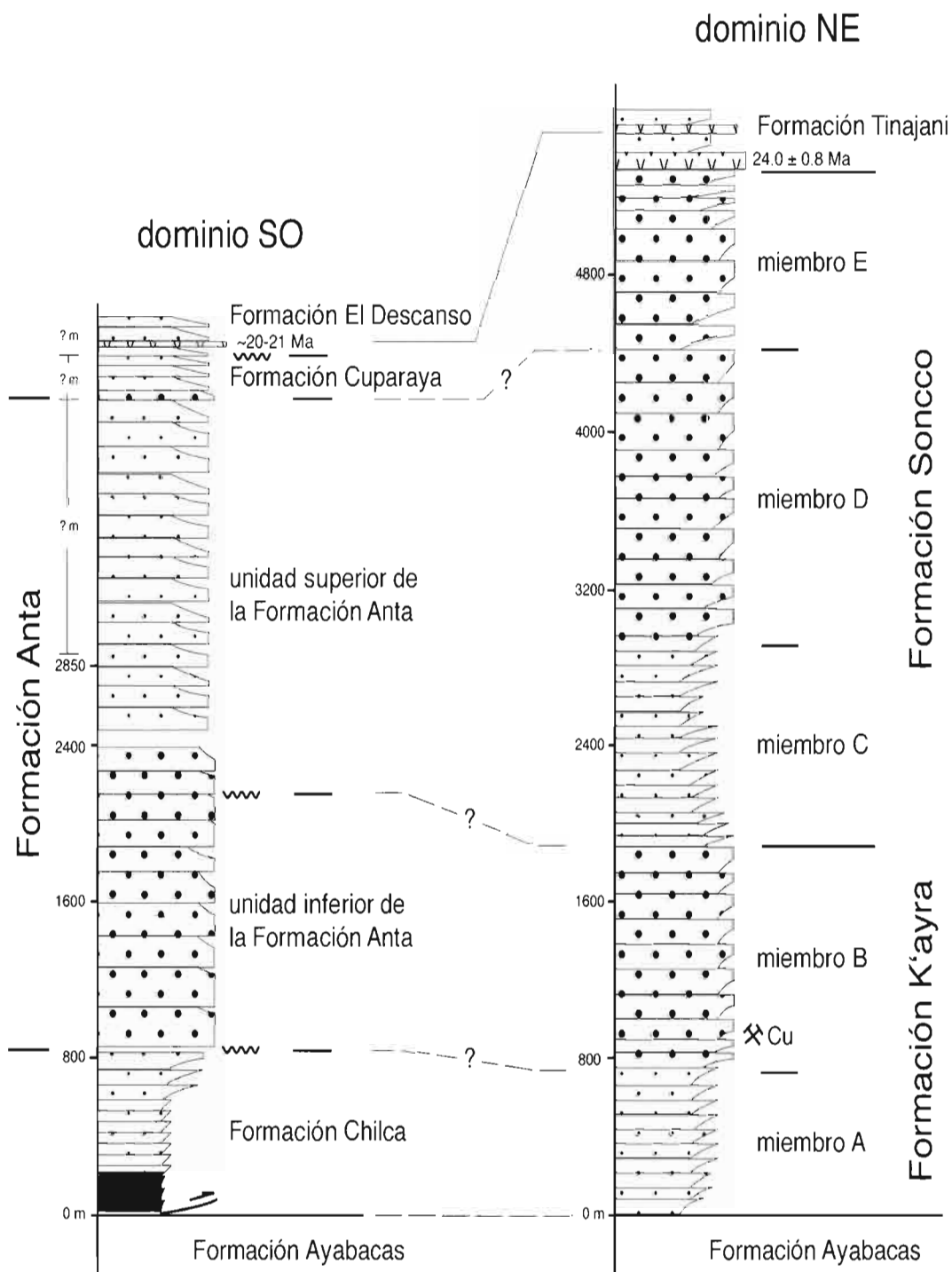


Fig. 7: Correlaciones estratigráficas de las unidades cenozoicas entre los dominios NE y SO

CONCLUSIONES

La zona de estudio presenta el interés de abarcar dos dominios tectonoestratigráficos separados por un sistema de fallas, el SFPS, que estuvo activo durante la sedimentación. En el dominio suroeste, la discordancia angular que separa las formaciones Chilca y Anta se elaboró aproximadamente en el Eoceno inferior a medio (~50-~42 Ma), posiblemente, dado su proximidad, por alguna actividad tectónica del SFPS. Otra actividad del mismo SFPS está documentada por lo menos durante la sedimentación de los miembros D y E del Grupo San Jerónimo y de la Formación Tinajani inferior, su finalización ocurriendo entre ~23 y ~20 Ma (Mioceno inferior). Esta actividad creó relieves que contribuyeron parcialmente a alimentar la cuenca.

La comparación de la estratigrafía entre los dominios noreste y suroeste (Fig. 7) requiere algunos comentarios. La ausencia aparente de la Formación Chilca en el dominio noreste se puede explicar por un proceso erosivo que es conocido en la región de Cusco (Carlotto,

1998). Aparentemente también, la Formación K'ayra se depositó en el dominio noreste mientras una discordancia erosiva y angular se elaboraba en el dominio suroeste. Si se admite la equivalencia cronológica de las formaciones Soncco y Anta, la primera parece corresponder a una zona distal mientras que la segunda tiene características de una zona proximal. Sin embargo, que obvia la actividad tectónica del SFPS durante la acumulación de los miembros D y E, mayormente compuestos por conglomerados gruesos de conos aluviales, implicando una probable separación tectónica de los dos dominios en esa época.

Finalmente, cabe destacar que los resultados sedimentológicos y estratigráficos obtenidos en el área de Macari-Llalli, en los dominios tanto noreste como suroeste, confirman plenamente la validez de las conclusiones alcanzadas en Cusco por Carlotto (1998).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Convenio IRD-UNSAAC.

REFERENCIAS

- CARLOTTO V.** (1992).- Relation entre sédimentation, paléogéographie et tectonique dans la région de Cuzco (sud du Pérou) entre le Jurassique supérieur et le Paléocène. Diplôme d'Etudes Appliquées de l'Université de Grenoble, Francia. 43 p., inédito.
- CARLOTTO V.** (1998).- Evolution andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13-16°S). Pérou. Enregistrement sédimentaire, chronologie, contrôles paléogéographiques, évolution cinématique. Tesis doctoral, Université de Grenoble, Francia.
- CERPA L., MEZA P., CARLOTTO V., FORNARI M. & SEMPERE T.** (2004). Paleogeografía y evolución de la cuenca miocena de Descanso-Yauri (Cusco). Este volumen.
- CÓRDOVA E.** (1986).- Un bassin intramontagneux andin péruvien. Les Couches Rouges du bassin de Cuzco (Maestrichtien-Paléocène). Tesis doctoral. Universidad de Pau, Francia, 272 p.
- IBARRA I., MAMANI M., RODRÍGUEZ R., SEMPERE T., CARLOTTO V. & CARLIER G.** (2004).- Estratigrafía y tectónica de la parte sur de la cuenca de Ayaviri. Este volumen.
- LATORRE O. & ORÓS Y.** (2000).- Evolución sedimentológica y tectónica terciaria entre la Laguna Langui-Layo y Llalli (borde NE de la Cordillera Occidental). Tesis de Ingeniero. UNSAAC, Cusco, 74 p.
- MAMANI M., IBARRA I., CARLIER G. & FORNARI M.** (2004).- Petrología y geoquímica del magmatismo alcalino de la zona noroeste del Altiplano peruano (departamento de Puno). Este volumen.
- MAROCCO R. & NOBLET C.** (1990).- Sedimentation, tectonism and volcanism relationships in two Andean basins of southern Peru. Geologische Rundschau, v. 79, p. 111-120.
- MIALL A. D.** (1977).- A review of the braided stream depositional environment. Earth Science Reviews, v. 13, p. 1-62.
- MIALL A. D.** (1996).- The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer, 582 p.
- NOBLET C.** (1985).- Etude des bassins intramontagneux andins. Analyse sédimentologique des couches rouges sud-péruviennes. ORSTOM, Lima, 51 p.
- NOBLET C., MAROCCO R. & DELFAUD J.** (1987).- Analyse sédimentologique des "Couches Rouges" du bassin intramontagneux de Sicuani (Sud du Pérou). Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines, Lima, v. 16, p. 55-78.