

ESTRATIGRAFÍA DEL MESOZOICO Y PALEÓGENO AL NORTE DEL LAGO TITICACA

Thierry SEMPÈRE¹, Harmuth ACOSTA² & Víctor CARLOTTO²

¹ IRD, apartado postal 18-1209, Lima 18 - E-mail: Thierry.Sempere@ird.fr

² Departamento de Geología, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco E-mail: carlotto@unsaac.edu.pe

RESUMEN

El análisis de las descripciones precisas proporcionadas por Newell (1949) para la región del Lago Titicaca demuestra que, en dos casos, se asignó nombres distintos a parte o totalidad de la misma unidad litológica objetiva (Fms Huancané y Cotacucho, y Fms Moho y Vilquechico, respectivamente). El mapeo de la zona donde Newell definió sus unidades muestra que la sucesión estratigráfica de este autor se encuentra duplicada debido a un cabalgamiento importante al medio del perfil que estudió. El Mesozoico-Paleógeno de esta región consiste en realidad de 7 grandes unidades estratigráficas, que en ciertos casos pueden correlacionarse con otras regiones del Perú: (1) el Grupo Mitu (Triásico) aflora sólo en ciertas áreas; (2) una unidad compuesta de areniscas fluvio-eólicas blanquecinas (unidad Quilcapunco) descansa en discontinuidad sobre el Mitu o en discordancia sobre el Paleozoico, y es localmente sobreyacida por calizas y margas predominantemente negras de edad liásica y/o bajociana (Fm Sipín); (3) la Fm Muni, dominada por pelitas rojas, sobreyace a las dos unidades anteriores mediante una discontinuidad de erosión y/o alteración, y pasa transicionalmente hacia arriba a una unidad fluvio-eólica estrato- y granocreciente (Fm Huancané s.s.), conformando un conjunto progradante continental de edad Jurásico medio y superior; (4) el conjunto de edad Cretáceo medio conformado por las Fms Angostura (conglomerados y areniscas, presentes al oeste), Murco (pelitas y limolitas rojas) y Arcurquina (calizas grises en bancos regulares y estratocrecientes) descansa sobre una discordancia regional; (5) la Fm Ayabacas (~Turoniano) consiste de olistostromos localmente muy espesos que retrabajan depósitos anteriores y señala un contexto marcadamente extensional; (6) el Grupo Vilquechico (Campaniano superior-Paleoceno inferior) sella los olistolitos de la Fm Ayabacas y comprende sub-unidades que se correlacionan con unidades bolivianas datadas; (7) el Grupo Puno (Paleoceno superior-Oligoceno) conforma una potente sucesión estrato- y granocreciente de color rojo que fue depositada en una extensa cuenca de tipo antepaís, su parte inferior siendo dominada por pelitas rojas (Fm Muñani, Paleoceno superior-Eoceno inferior). Se subraya que la estratigrafía evidenciada comparte varios puntos comunes con la estratigrafía mesozoica-paleógena de la vecina Bolivia.

ABSTRACT

A re-analysis of Newell's (1949) precise descriptions and definition of the stratigraphy of the Lake Titicaca region shows that, in 2 cases, distinct names were assigned to the same objective lithologic unit (Huancané and Cotacucho Fms, and Moho and Vilquechico Fms, respectively). Mapping of the area where Newell defined his units shows that he duplicated the real stratigraphic succession due to a covered thrust occurring in the middle of his reference section. The Mesozoic-Paleogene of this region consists in fact of 7 main stratigraphic units, that in some cases can be correlated to other regions of Peru: (1) the Mitu Group (Triassic) crops out only in some areas; (2) a unit consisting of whitish fluvio-eolian sandstones unconformably overlies the Mitu or the Paleozoic, being locally overlain by dominantly black limestones and marls of Liassic and/or early Dogger age (Sipín Fm); (3) the Muni Fm is dominated by red mudstones, overlies the two previous units with an erosional and/or weathering discontinuity, and grades into a thickening- and coarsening-upward fluvio-eolian unit (Huancané s.s. Fm), forming a continental prograding set of Middle and Late Jurassic age; (4) the Middle Cretaceous stratigraphic set formed by the Angostura (conglomerates and sandstones, occurring in the west), Murco (mainly red mudstones and siltstones) and Arcurquina (regularly-bedded, thickening-upward, grey limestones) Fms onlaps a regional unconformity; (5) the Ayabacas Fm (~Turonian) consists of locally very thick olistostromes that rework previous deposits, marking an extensional context; (6) the Vilquechico Group (Late Campanian-Early Paleocene) post-dates the Ayabacas olistolites and comprises sub-units that correlate with dated Bolivian units; (7) the Puno Group forms a thick thickening- and coarsening-upward red-coloured succession that was deposited in a large foreland-type basin, its lower part being dominated by red mudstones (Muñani Fm, Late Paleocene-Early Eocene). We underline that the described stratigraphy shares many common aspects Mesozoic-Paleogene stratigraphy of nearby Bolivia.

INTRODUCCIÓN

Una breve comparación de los trabajos estratigráficos publicados sobre el Mesozoico y Paleógeno de la región peruana del Lago Titicaca pone de manifiesto que los numerosos modelos estratigráficos disponibles discrepan fuertemente entre ellos y que no existe un consenso sobre la realidad geológica de esta área. Sin embargo, el tema de la estratigrafía en la región ubicada al oeste del Lago Titicaca (Fig. 1) es importante por varias razones, incluyendo la existencia en esta zona del único yacimiento de hidrocarburos que fue explotado en los Andes Centrales — Pirín —, el hecho que esta región es cercana a la cuenca tal vez petrolífera del Madre de Dios, y el interés científico presentado por la obtención de un conocimiento objetivo y confiable de la evolución geológica del área.

El convenio IRD-UNSAAC emprendió en 1997 nuevos estudios de campo con el fin de tratar de resolver el problema de la estratigrafía mesozoica-paleógena en esta región. Estos estudios se han basado sobre métodos actualizados de estratigrafía secuencial genética, y, para los aspectos estructurales, sobre un mapeo de campo apoyado por un análisis de imágenes satelitales. El objetivo del presente trabajo es dar a conocer, en forma didáctica, los avances obtenidos hasta la fecha sobre este tema.

TRABAJOS ANTERIORES

Los trabajos que se publicaron anteriormente sobre la

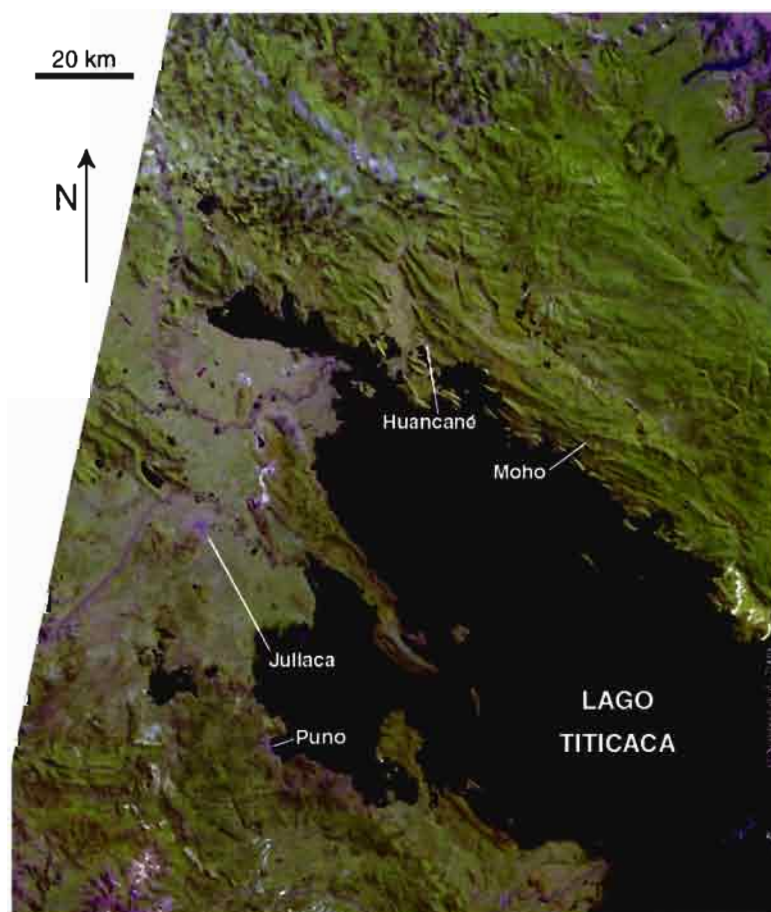
estratigrafía de la región del Lago Titicaca (Altiplano peruano) son numerosos. Sin ser exhaustivo, cabe mencionar a Newell (1945, 1946, 1949), Audebaud (1971), De Jong (1974), Portugal (1974), Audebaud et al. (1976), Laubacher (1978), Ellison (1985), Klinck et al. (1986), Palacios y Ellison (1986), Batty y Jaillard (1989), Laubacher y Marocco (1990), Jaillard y Santander (1992), Palacios et al. (1993), Jaillard (1995), y Sempere et al. (2000a). Estos trabajos se basan sobre Newell (1949) o se refieren abundantemente a este autor, y el presente estudio no forma una excepción. Además de la realidad observable en el campo, la considerable obra de Newell (1949) es un punto de partida obligatorio para volver a investigar la geología de la región mencionada, ya que este autor definió la mayor parte de la nomenclatura estratigráfica regional.

La estratigrafía propuesta por Newell (1949)

Problemática

Newell (1949) reconoció y definió la siguiente sucesión estratigráfica mesozoica-paleógena en la zona que estudió: Grupo Lagunillas, Formación Sipín, Formación Muni, Formación (Arenisca) Huancané, Grupo Moho, Grupo Cotacucho, Formación Vilquechico, Formación Muñani, Grupo Puno. Incluyó dentro de su grupo Moho la Formación (Caliza) Ayavacas [*sic*; ver más adelante una aclaración sobre la ortografía de este topónimo] que había sido reconocida y definida

Fig. 1: Vista satelital de la zona de estudio (LANDSAT-TM, canales 3-7-1).



sección N1: escarpe en Vilquechico, 7 km al este de Huancané (Newell, 1949, p. 64-65)

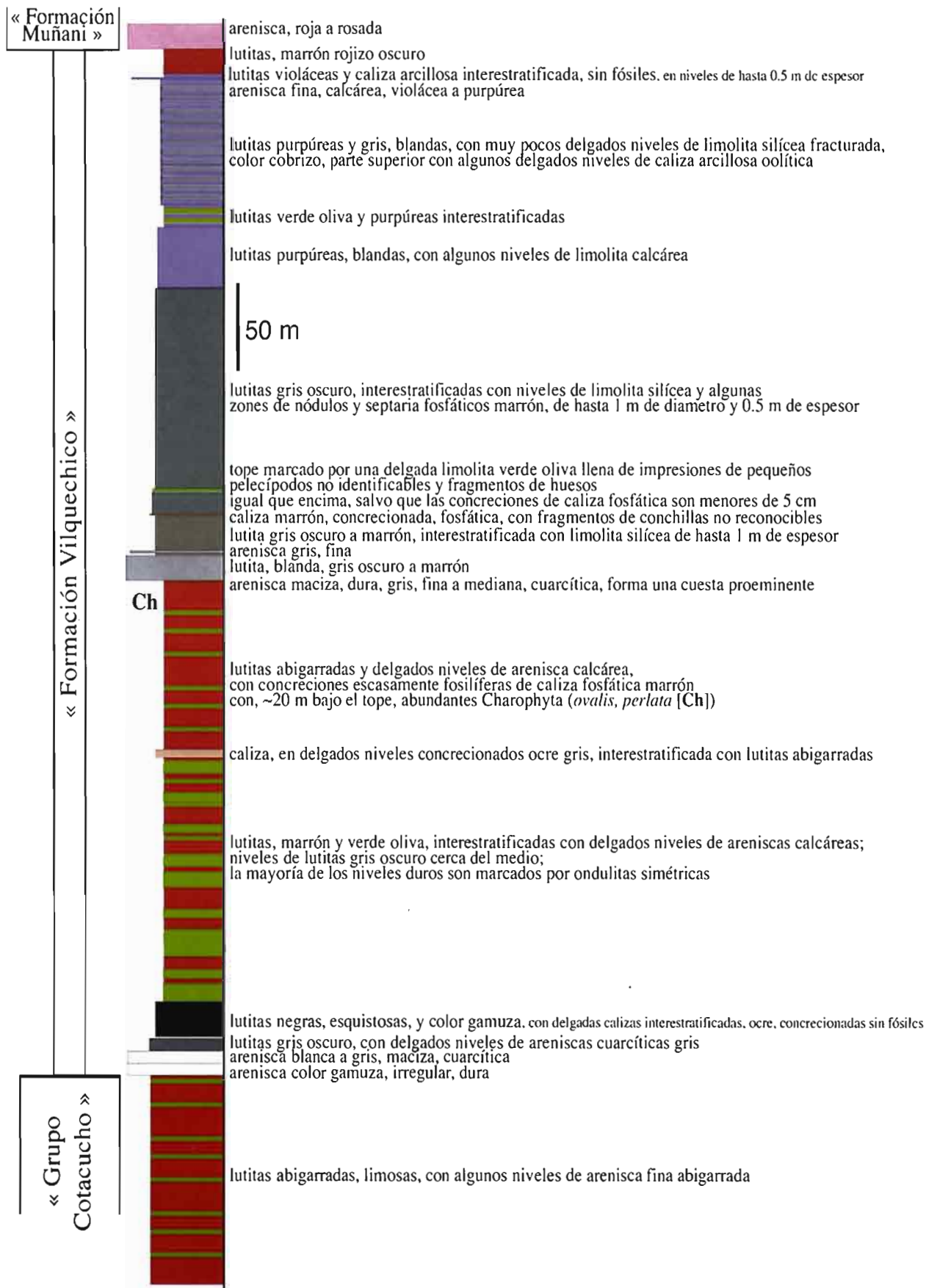


Fig. 2: Sección de Vilquechico según las descripciones de Newell (1949); Ch = nivel de carofitas mencionado por este autor.

anteriormente (Rasmuss, 1935; Cabrera y Petersen, 1936), destacando sus peculiaridades « estructurales » (Newell, 1949, p. 24-25 y p. 61).

Sin embargo, el análisis de las descripciones precisas proporcionadas por Newell (1949) para la región del Lago Titicaca demuestra que, en dos casos, se asignó nombres distintos a parte o totalidad de la misma unidad litológica. Este hecho problemático se puede comprobar a partir de sólo tres secciones, representadas en las figuras 2 a 4 del presente trabajo tales como fueron descritas por el propio Newell (1949). Estas tres secciones están correlacionadas en las figuras 5 y 6.

Las palabras o textos que a continuación figuran entre comillas son citas tomadas del trabajo de Newell (1949).

Identidad de la parte superior del « Grupo Moho » con la Formación Vilquechico

En Vilquechico (sección N1; Fig. 2), Newell (1949, p. 64-65) definió su Formación Vilquechico, la cual consiste mayormente de pelitas de color verde a gris oscuro. Esta unidad comprende dos miembros arenosos característicos, uno en la base (su unidad *a*) y otro en la parte media (su unidad *e*), cada uno con 15 m de espesor. Newell (1949) notó la presencia de un horizonte con abundantes *Charophyta* fósiles (« *Chara* » *ovalis*, «*Chara*» *perlata*) ~20 m bajo el segundo miembro arenoso, el cual « conforma una cuesta prominente (*forms a prominent cuesta*) ».

En Moho (sección N2; Fig. 3), Newell (1949, p. 59-60) definió su Grupo Moho, del cual un poco más de la mitad superior consiste mayormente de pelitas de color verde a gris oscuro. Esta parte superior del « Grupo Moho » comprende dos miembros arenosos que recuerdan fuertemente a los que se observan en la Formación Vilquechico en su localidad de definición (Figs. 2, 3 y 5). El primero (su unidad *d*; 12 m de espesor) marca la base de este « Grupo Moho » superior; el segundo (su unidad *g*; 20 m de espesor) se encuentra en su parte media y « forma escarpes prominentes (*forms prominent scarps*) ». Newell (1949) notó la presencia de un horizonte con abundantes *Charophyta* fósiles (con « *Chara* » *ovalis*) ~35 m bajo el segundo miembro arenoso.

Estos múltiples puntos comunes hacen evidente la identidad estratigráfica del Grupo Moho superior y de la Formación Vilquechico (tales como han sido definidos por Newell, 1949), hecho que se comprueba fácilmente en el campo. Cabe mencionar que Audebaud et al. (1976) y Laubacher (1978) ya habían llegado a la misma conclusión. Se nota (Fig. 5) que esta unidad única es aparentemente más espesa en Vilquechico (679 m) que en Moho (463 m). Descansa sobre una misma unidad de « pelitas abigarradas (*variegated shale*) » en Vilquechico y en Moho. Sin embargo esta unidad de « pelitas abigarradas » está asignada en Vilquechico al « Grupo Cotacucho » por Newell (1949) mientras que en Moho está considerada como la parte inferior del « Grupo Moho » por el mismo, lo

que por consecuencia cuestiona la definición de ambos grupos.

Identidad del « Grupo Cotacucho » con el conjunto conformado por las formaciones Muni y Huancané y la parte inferior del « Grupo Moho »

En Moho (sección N2; Fig. 3), Newell (1949, p. 58-60) identifica la « caliza Ayavacas » por debajo de las pelitas abigarradas mencionadas en el párrafo anterior, y 80 m por debajo de esta caliza, la Formación Huancané, que él mismo definió cerca del pueblo homónimo. Este autor nota que en Moho la Formación Huancané comprende niveles pelíticos cerca de su base aflorante, la cual se encuentra fallada.

En Cotacucho (sección N3; Fig. 4), Newell (1949, p. 63) definió su Grupo Cotacucho, que comprende distintas sub-unidades. Al techo de este « Grupo Cotacucho », reconoce la arenisca basal de su Formación Vilquechico. Habiendo demostrado más arriba la identidad de la unidad superior del « Grupo Cotacucho » y de la mitad inferior del « Grupo Moho », resulta obvio que la unidad arenosa espesa que conforma la parte media del « Grupo Cotacucho » es estratigráficamente idéntica a la Formación Huancané (Fig. 5). El propio Newell (1949) había mencionado que existe entre ambas unidades una similitud litológica marcada, lo cual fue destacado por Audebaud et al. (1976) y reiterado por Laubacher y Marocco (1990).

Consecuentemente, la parte inferior del « Grupo Cotacucho » que consiste mayormente de pelitas rojas yesíferas resulta ser estratigráficamente idéntica a la Formación Muni, la cual subyace normalmente a la Formación Huancané y también consiste mayormente de pelitas rojas localmente yesíferas (Newell, 1949, p. 54-59). En Cotacucho, este autor describe en la parte inferior del « Grupo Cotacucho » un cuerpo de yeso de aproximadamente 30 m de espesor, y menciona que es « generalmente muy mal expuesto debido a su incompetencia estructural y solubilidad », lo que sugiere que puedan existir complicaciones estructurales a raíz de la presencia de evaporitas en la pila sedimentaria.

A este respecto, y pese a los problemas planteados por su estratigrafía, Newell (1949) proporciona observaciones claves, con las cuales coincidimos plenamente. En su párrafo « *Cotacucho overlap* » (p. 62), este autor subraya lo siguiente: « Los afloramientos invariablemente pobres de los estratos basales del Cotacucho vuelven imposible el examen del contacto entre [los grupos Moho y Cotacucho]. Además, varias localidades, como los afloramientos justo al oeste de Huatasane y al sureste de Moho, muestran algunas indicaciones de despegues tectónicos en la base de la unidad *e*, la cual forma la base de la sucesión arenosa maciza en la parte media del Grupo Cotacucho. Una buena cantidad de deformación e inversión tectónicas de los estratos incompetentes por lo menos localmente a destrozado el contacto sedimentario original. Al principio de este trabajo, se sospechó que la parte superior de la

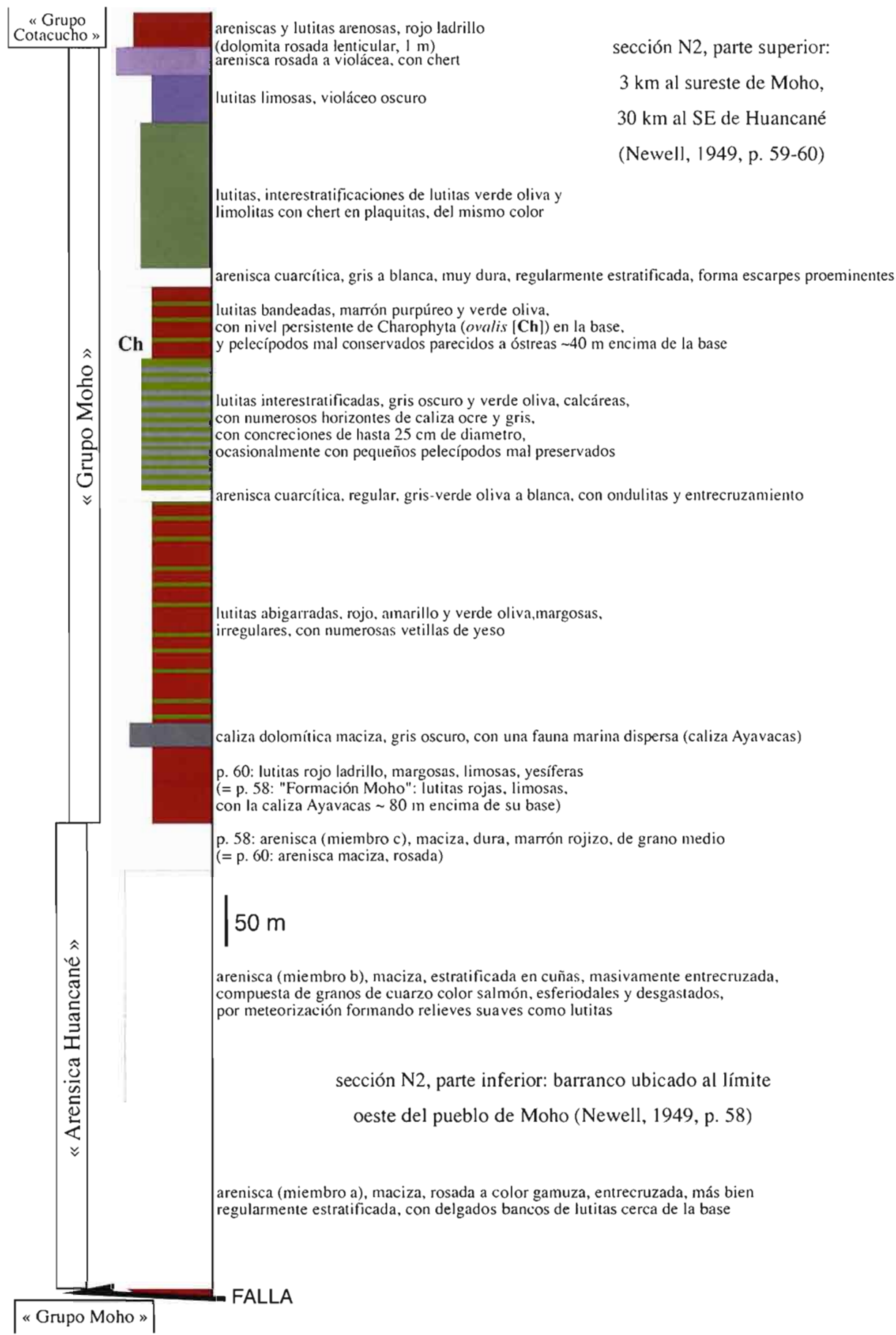


Fig. 3: Columna compuesta de las 2 secciones levantadas cerca de Moho por Newell (1949), según sus descripciones; Ch = nivel de carofitas mencionado por este autor.

sección N3: escuela de Cotacucho, 4 km al SE de Vilquechico,
sobre la carretera a Rosaspata (Newell, 1949, p. 62-63)

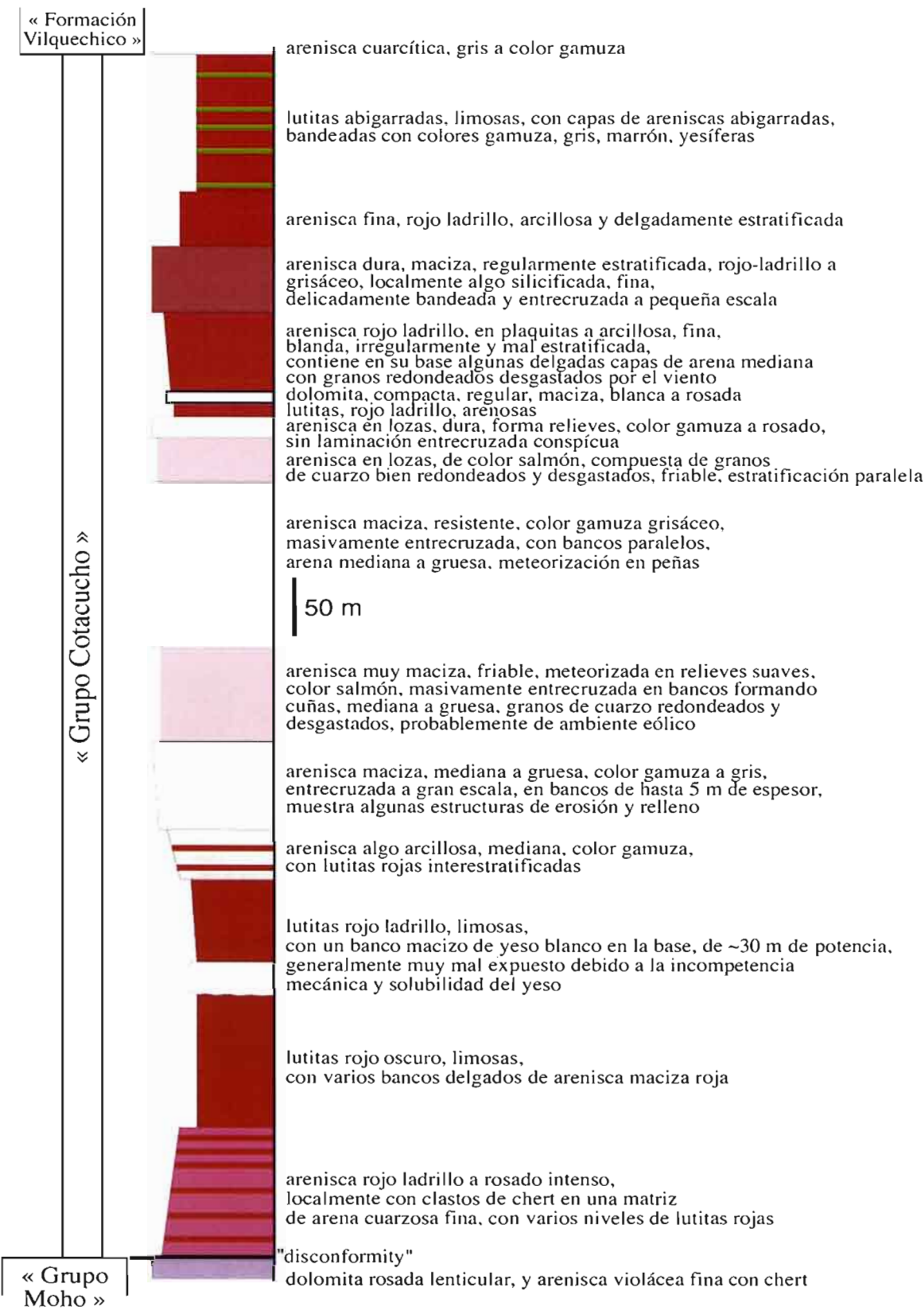


Fig. 4: Sección de Cotacucho, según las descripciones de Newell (1949)

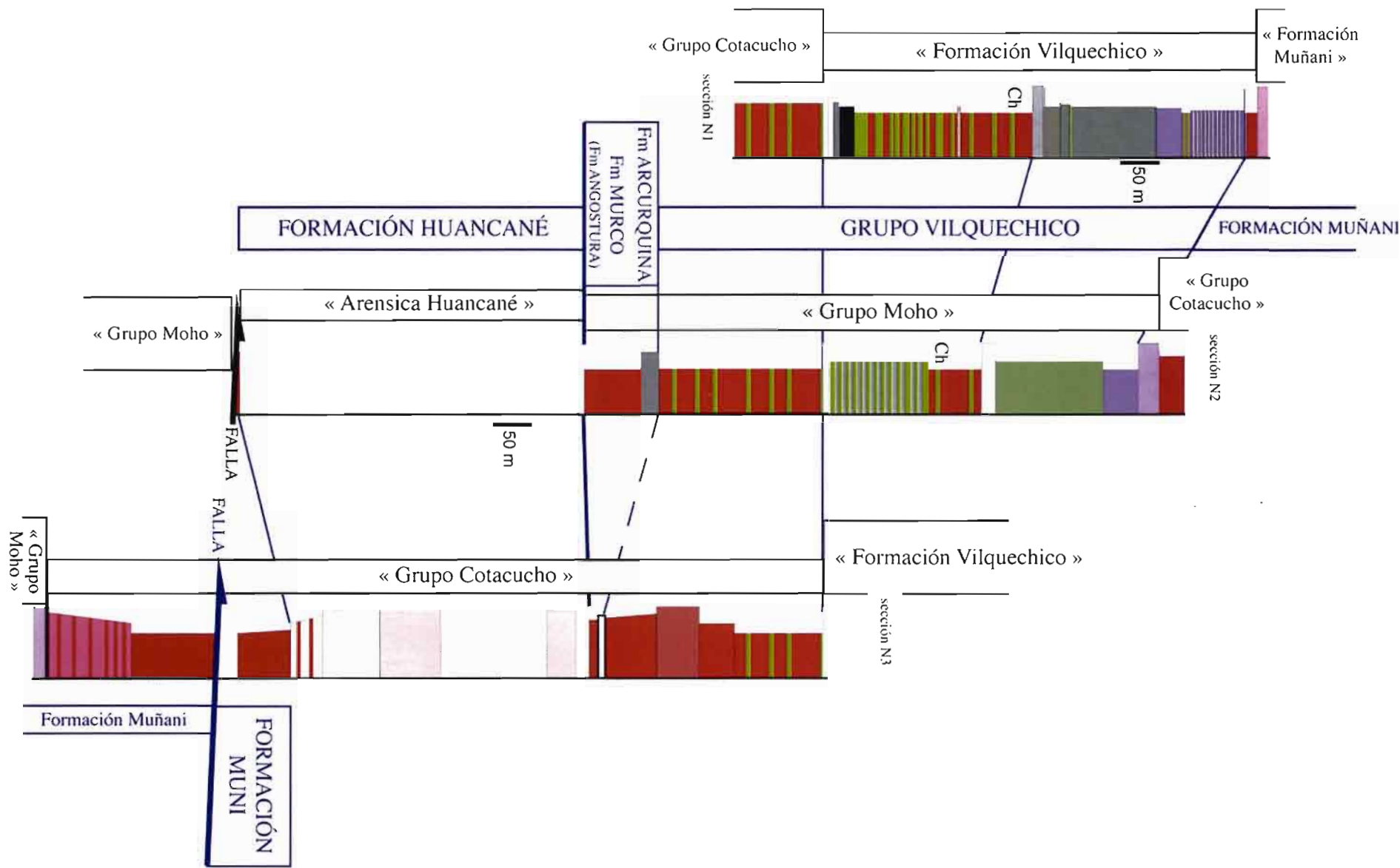


Fig. 5: Correlaciones entre las secciones descritas por Newell (1949) e ilustradas en las figuras 2 a 4. Las unidades estratigráficas reconocidas por este autor figuran en negro, mientras que las unidades estratigráficas identificadas por el presente trabajo están en azul. La falla indicada en azul en la base del nivel de yeso de la sección N3 es interpretativa pero deducida de las observaciones de Newell en esta localidad y otras (ver texto).

sección era una lámina cabalgante de estratos [mesozoicos] repetidos, por la similitud litológica marcada entre las dos series (... *the invariably poor outcrops of the basal beds of the Cotacucho made it impossible to examine the contact between the two groups. Furthermore, several places, such as outcrops just west of Huatasane and southeast of Moho, show some indication of bedding-plane thrusts at the base of unit d, which forms the base of the massive sandstone sequence of the middle part of the Cotacucho group. A great deal of crumpling and overturning of the incompetent beds below the sandstone has at least locally destroyed the original sedimentary contact. Early in the work it was suspected that the upper part of the section was a thrust sheet of duplicated (...) beds because of marked lithologic similarity between the two series.*) ». La observación por Newell (1949) de un frecuente fallamiento por debajo del cuerpo arenoso principal de su « Grupo Cotacucho » refuerza la identidad de este último con la Formación Huancané, ya que un fallamiento también se observa frecuentemente por debajo de ésta (Fig. 3). En conjunto, estas observaciones sugieren que a menudo existe un nivel de despegue tectónico en la Formación Muni, y confirman la posibilidad que existan repeticiones tectónicas.

Newell (1949), sin embargo, menciona que por razones estratigráfico-paleogeográficas – con las cuales no coincidimos (ver más adelante) –, prefirió considerar que los contactos tectónicos que observó en su « Grupo Cotacucho » no representaban fallas notables. Sin embargo, estas observaciones y los problemas identificados en su estratigrafía plantean a su vez problemas estructurales en la zona donde definió sus unidades.

El marco estructural del sinclínium de Putina (o Faja de Putina)

Las observaciones estructurales que efectuamos en el campo y el posterior análisis de las imágenes LANDSAT-TM correspondientes confirman la primera impresión que Newell (1949) honestamente reconoce haber tenido al inicio de su estudio, es decir que la zona de Huancané-Moho comprende repeticiones tectónicas. Los niveles de despegue de las láminas cabalgantes (*thrust sheets*) se ubican en su gran mayoría en la Formación Muni. Entre el golfo de Vilquechico (o de Punta Imanco) y por lo menos los alrededores de Moho también se identificó una lámina despegada en la Formación Vilquechico inferior, la cual, como la Formación Muni, es en parte yesífera.

La existencia de cabalgamientos importantes es manifiesta, en forma espectacular, al NE del pueblo de Huancané. La unidad estructural donde se ubica el sinclinal de Vilquechico se encuentra despegada en la Formación Muni y cabalga hacia el SO sobre la lámina donde se ubica el pueblo de Huancané (Fig. 7) y en la cual se encuentra el estratotipo de la Formación Huancané (Palacios y Ellison, 1986, p. 40). Se observa claramente cómo los estratos ubicados al SO y NE del contacto fallado que separa el conjunto Muni-Huancané (NE) del conjunto Vilquechico-Muñani (SO) están interrumpidos por un cabalgamiento (Fig. 7).

Las vistas satelitales de la zona de Huancané-Moho muestran repeticiones tectónicas que involucran a las formaciones Muni y Huancané. Estas repeticiones localmente numerosas (Fig. 8) corresponden a apilamientos tectónicos (*duplexes*) de escamas de escala lateral kilométrica a plurikilométrica despegadas en la Formación

este trabajo	Newell (1949)		
	sección N1	sección N2	sección N3
FORMACIÓN MUÑANI	«Formación Muñani»	«Grupo Cotacucho»	
GRUPO VILQUECHICO	Fm superior		
	Fm media		
	Fm inferior	«Grupo Moho»	«Formación Vilquechico»
Fm ARCURQUINA Fm MURCO (Fm ANGOSTURA)			
FORMACIÓN HUANCANÉ ↑ FORMACIÓN MUNI		«Formación Huancané»	«Grupo Cotacucho»

Fig. 6: Comparaciones entre las nomenclaturas estratigráficas propuestas por Newell (1949) y este trabajo, basadas sobre las correlaciones de la figura 5. La denominación “Grupo Vilquechico” y su división en tres formaciones sigue la propuesta de Jaillard et al. (1993)

Muni. Su apariencia en las vistas satelitales son típicas de « ojos de duplexes » (*duplex eyes*), ya que el ángulo de observación es perpendicular a su vergencia SO. Estas estructuras de tipo ahora clásico se expresan en el campo por la superposición repetida de una unidad pelítica roja (la Formación Muni) y otra arenosa blanquecina (la Formación Huancané). Tal hecho explica a su vez cómo los estudios que no reconocieron las características estructurales de la zona atribuyeron la unidad pelítica roja tanto a la Formación Muni como a la parte inferior del «Grupo Cotacuchu», y la unidad arenosa blanquecina tanto a la Formación Huancané como a la parte media del mismo grupo. En el caso particular de la zona de estudio, se destaca la importancia de tener acceso a imágenes satelitales de buena calidad, lo que para Newell era obviamente imposible en los años 1940.

Estas numerosas observaciones son coherentes y características, y conducen desde luego a plantear para la zona de Huancané-Moho la existencia de un nivel de despegue en la Formación Muni. El “sinclinorio” de Putina (o Faja de Putina) se caracteriza, en primera aproximación, por conformar una especie de sinclinal, con estratos mesozoicos descansando sobre estratos paleozoicos tanto en su borde NE como en su borde SO. Sin embargo, este “sinclinorio” está roto a lo largo de su eje por una estrecha faja de cabalgamientos, denominada Azángaro por pasar por esta localidad; muy generalmente, los cabalgamientos presentan una vergencia SO y usan un nivel de despegue ubicado en la Formación Muni. El cabalgamiento frontal de esta faja es idéntico al *Azángaro overthrust* de Newell (1949). Una consecuencia importante de este esquema estructural es que, en la zona de estudio, la base de la sucesión mesozoica (por debajo de la Formación Muni) aflora sólo al SO de la zona de cabalmientos de Azángaro

y en la franja NE de la Faja de Putina, debido a que este tramo estratigráfico se ubica por debajo del principal nivel de despegue tectónico por estas longitudes.

Hacia el NE (zona de Putina y carretera a Ananea; carretera Nuñoa-Macusani) y NO (zona de Nuñoa), otro nivel de despegue existe en las lutitas esquistosas paleozoicas. Hacia el SE, la Faja de Putina se continua en Bolivia bajo el nombre de “Faja de Huarina”, cuyo principal nivel de despegue se ubica en lutitas siluro-devónicas. Sin embargo, los pliegues observables muestran comúnmente una cierta oblicuidad sobre la orientación general de la Faja de Putina, algunos presentando una inversión estructural de ambos flancos; estas características peculiares sugieren que la Faja de Putina fue estructurada por una deformación regional transpresiva.

OBSERVACIONES DE CAMPO Y RESULTADOS ESTRATIGRÁFICOS

Introducción

La identificación de errores de índole estratigráfico y tectónico en el trabajo fundamental de Newell (1949) explica en parte las profundas discrepancias que surgieron entre los trabajos posteriores que se realizaron en la misma zona. Nuestra redefinición de la estratigrafía regional está basada tanto en el reconocimiento de estos problemas como en el desarrollo de nuevos estudios estratigráficos y tectónicos de campo.

El análisis crítico expuesto más arriba obliga obviamente a abandonar las denominaciones de « Grupo Moho » y « Grupo Cotacuchu », puesto que estos términos corresponden a unidades que por otra parte ya llevan otros

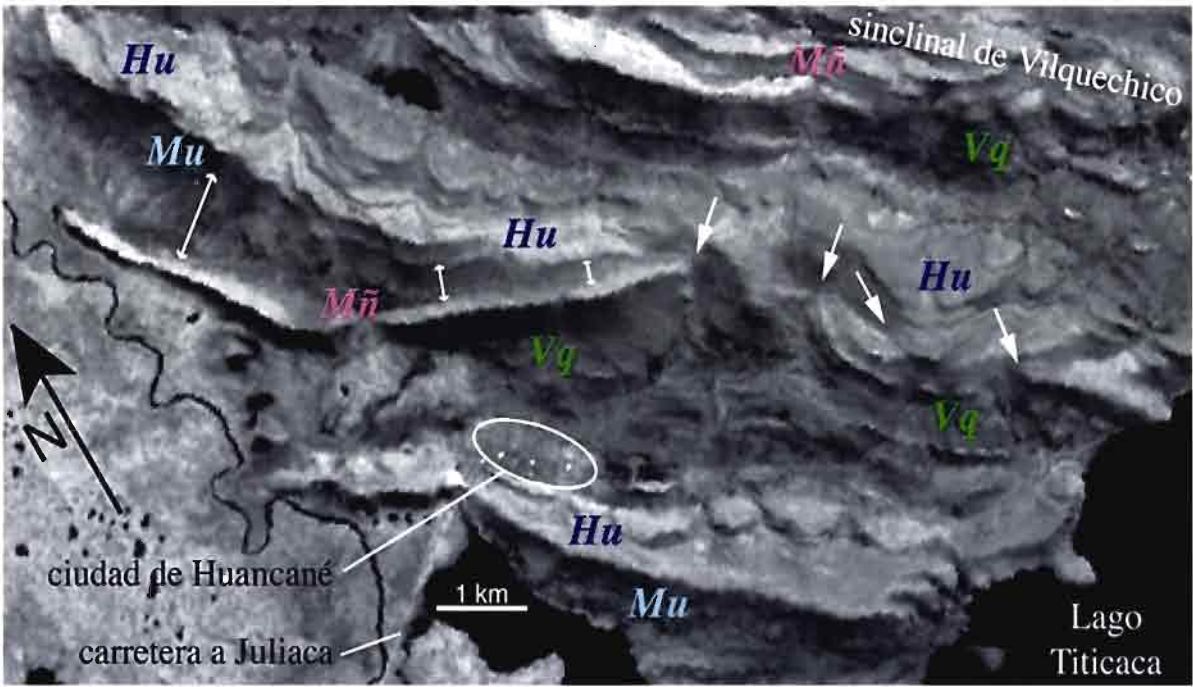


Fig. 7: Evidencias para la existencia de un cabalgamiento importante al NE del pueblo de Huancané (imagen LANDSAT-TM, canal 7); Mu= Formación Muni, Hu= Formación Huancané, Vq= Grupo Vilquechico, Mñ= Formación Muñani

nombres, impuestos además por el mismo autor. Seguir usando estas denominaciones contribuye a persistir en la confusión. No queda otra solución que proponer nuevos nombres provisionales para las unidades que lo requieren, basándose sobre correlaciones con formaciones similares ya definidas en otras zonas del Sur del Perú.

En la región de estudio, el Mesozoico-Paleógeno consiste de 7 grandes unidades estratigráficas (Fig. 9):

1. El Grupo Mitu (Pérmico superior - Triásico) se depositó específicamente en paleo-grábenes.
2. Un conjunto no denominado, de edad aproximada Liásico - Dogger inferior, está conformado por la unidad Quilcapunco (unidad nueva, denominación provisional) y la sobreyacente Formación Sipín de Newell (1949).
3. Un conjunto no denominado, de edad probable Dogger superior - Malm inferior, está esencialmente conformado por las formaciones Muni y Huancané de Newell (1949).
4. Un conjunto, para el cual se propone usar denominaciones definidas en la región de Arequipa, es conformado por areniscas, pelitas rojas y calizas regularmente estratificadas que representan a las formaciones Murco y Arcurquina; fue depositado en forma traslapante (*onlap*) y transgresiva durante el Cretácico Medio.
5. La Formación Ayabacas *s.s.* consiste en masas resedimentadas mayormente calcáreas y otros olistolitos, que se presentan en forma caótica.
6. El Grupo Vilquechico (Jaillard et al., 1993), de edad Cretácico terminal - Paleoceno inferior, sella los olistolitos caóticos de la Formación Ayabacas *s.s.*
7. La Formación Muñani, de edad Paleoceno superior -

Eoceno inferior, es equivalente a la parte inferior del Grupo Puno de Newell (1949).

Los conjuntos estratigráficos se describen a continuación de arriba hacia abajo, debido a que las discrepancias con los trabajos anteriores aumentan en este sentido.

Formación Muñani (Paleoceno superior - Eoceno inferior) y Grupo Puno (Paleoceno superior - Oligoceno)

Formación Muñani

La Formación Muñani (Newell, 1949) consiste de una potente sucesión estrato- y granocreciente, cuyo color marrón rojizo a rojo contrasta con los colores verdosos a morados de la Formación Vilquechico superior sobre la cual descansa (Fig. 9; Foto 1). Su parte basal no sobrepasa algunas decenas de metros de espesor, y está dominada por canales arenosos entrecruzados localmente con depósitos rojos de llanura de inundación y paleosuelos (como en 14°59.4'S-69°50.3'W, y en UTM 432-8306).

La parte inferior de la Formación Muñani es dominada por pelitas rojas, que representan facies de llanura aluvial, barreal (*mud flat*) y lago. En ella se intercala un delgado pero característico miembro gris oscuro a verdoso, localmente calcáreo, que contrasta fuertemente con las pelitas rojas espesas en las cuales se inserta. Espeso con algunas decenas de metros, este miembro de origen lacustre es conocido en gran parte de los Andes bolivianos, donde lleva el nombre de Miembro La Cabaña, y en el extremo NO de la República Argentina, donde se lo

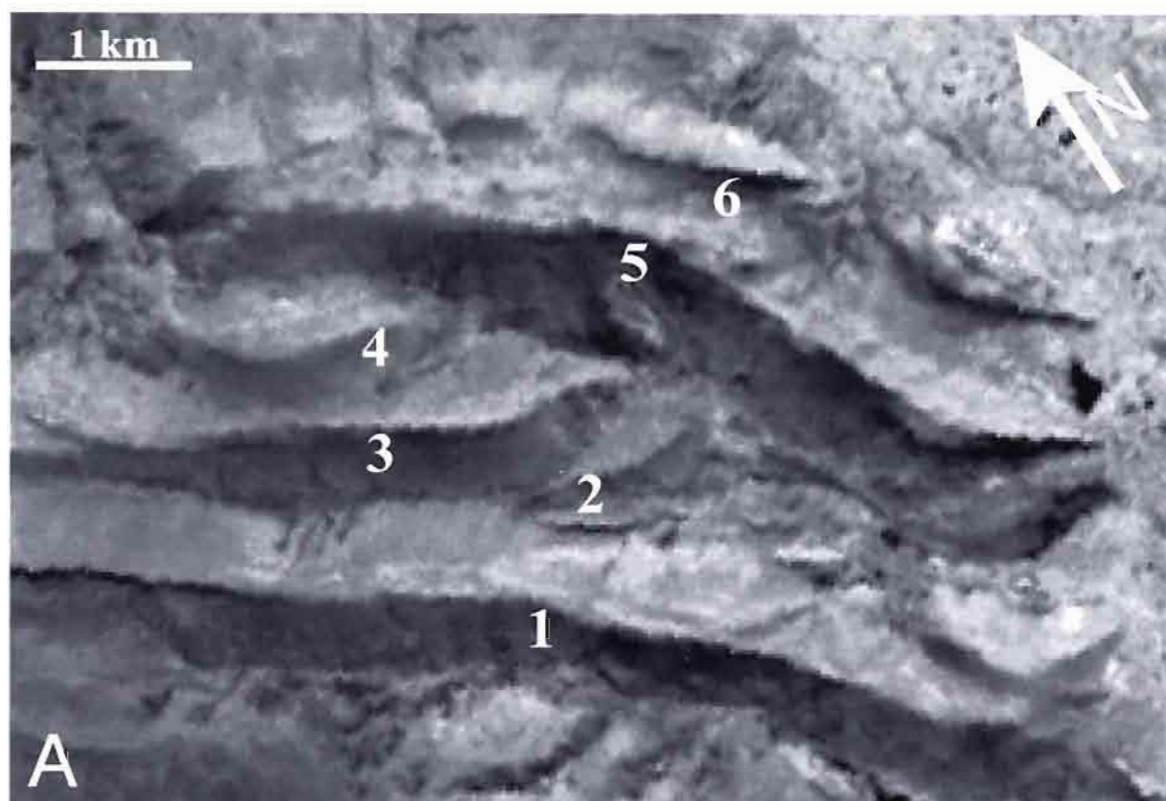


Fig. 8: "Ojos de duplexes" (duplex eyes) formados por repeticiones tectónicas de las formaciones Muni y Huancané, 7,5 km al SO de Huatasane

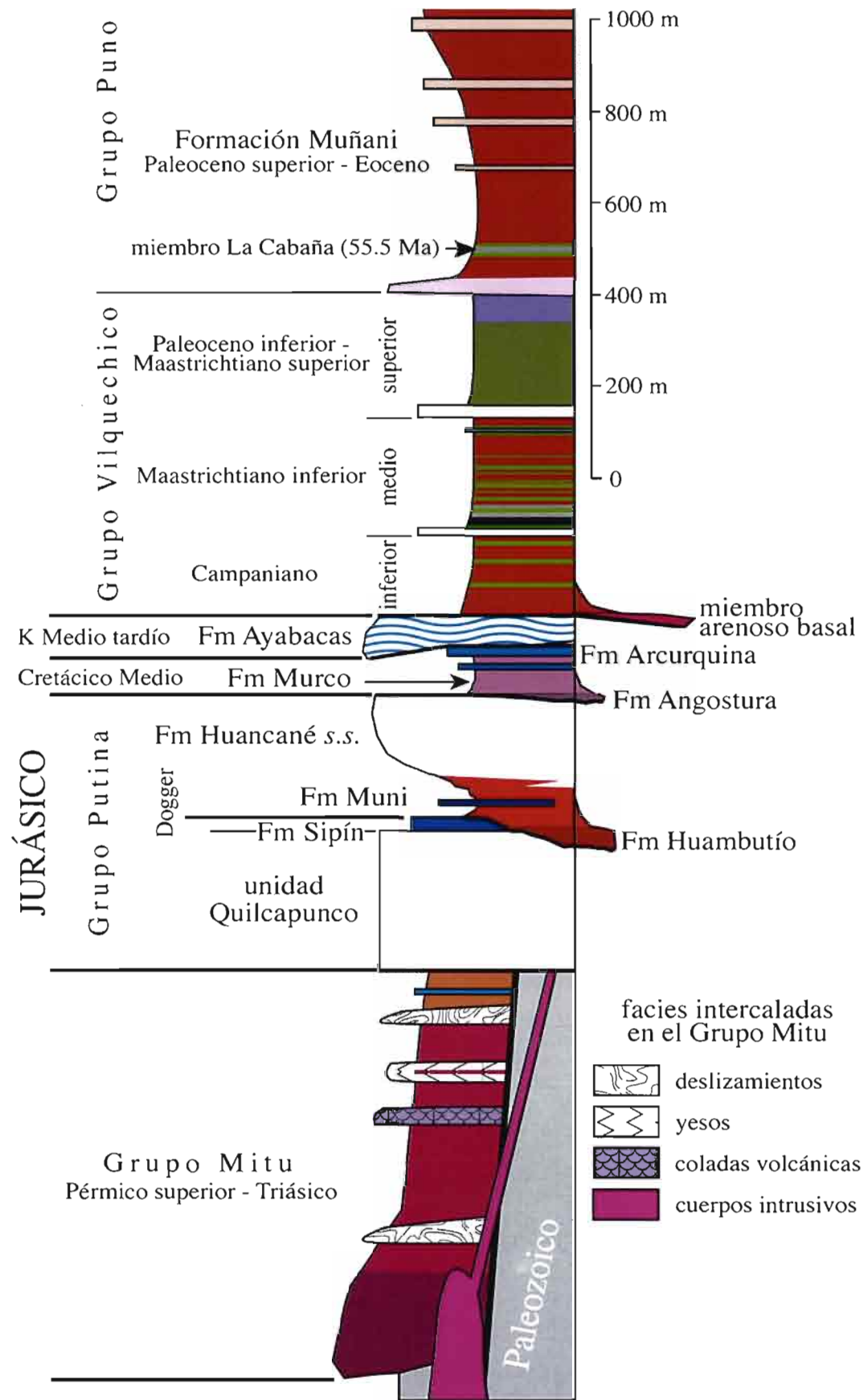


Fig. 9: Estratigrafía del Mesozoico - Paleógeno al noroeste del Lago Titicaca. Se subraya que los espesores de la mayoría de las unidades varían lateralmente. Las litologías están representadas de forma clásica; los colores son sugestivos de los colores reales, salvo los azules, que representan calizas; la denominación "miembro La Cabaña" es tomada de la estratigrafía boliviana

refiere como « Faja Verde ». En Bolivia, está datado entre 56 y 55 Ma (Paleoceno terminal) por magnetoestratigrafía (Sempere et al., 1997). Representa una perturbación climática corta pero notable, la cual aparentemente coincide con una importante perturbación climática de amplitud global fechada en 55.5 Ma (Bains et al., 1999).

En la parte superior de la Formación Muñani, las pelitas rojas van intercalándose con canales arenosos en forma creciente. Existen en estos canales escasos niveles conglomerádicos, con clastos centimétricos. El techo de la Formación Muñani corresponde a niveles de erosión del Neógeno superior.

Por sus colores y facies característicos, la Formación Muñani es equivalente a la parte inferior de la Formación Tiahuanaco (Altiplano Norte de Bolivia) y al conjunto formado por las formaciones Santa Lucía, Cayara y Potoco inferior (Andes bolivianos). Todas estas unidades se depositaron en una extensa cuenca de tipo antepaís.

Grupo Puno

La estratigrafía del Grupo Puno fue definida por Newell (1949) con bastante precisión, especialmente en el flanco este de la península de Pusi. Su descripción original pone de manifiesto que, a parte de la base, se trata de una espesa sucesión eminentemente grano- y estratocreciente, hecho que fue correctamente recalado por algunos de los autores posteriores (Klink et al., 1986; Palacios et al., 1993; se recomienda consultar a estos trabajos para tener una buena descripción de la unidad). El Grupo Puno consiste mayormente de facies fluviales y de llanura aluvial, y se depositó en una extensa cuenca de tipo antepaís. Medidas preliminares de paleocorrientes muestran que en esta cuenca el material clástico era transportado globalmente de sur a norte.

La parte inferior del Grupo Puno es dominada por

pelitas rojas, como se observa por ejemplo sobre la carretera que va de Cabanillas a Mañazo (UTM 354-8262), y es litológicamente similar a la Formación Muñani. Al sur de 15°30'S, sin embargo, el Grupo Puno inferior presenta facies más proximales que la Formación Muñani, lo que refleja la polaridad S → N de la cuenca. Es evidente que la Formación Muñani es un equivalente septentrional y más distal de la parte inferior del Grupo Puno, y por lo tanto que pertenece a este grupo (Sigé B. et al, 2004).

Al sur, el Grupo Puno descansa sobre la Formación Ayabacas, mientras que al norte (Faja de Putina) sobreyace al Grupo Vilquechico. Esta relación está también de acuerdo con lo que se sabe de la polaridad y arquitectura de la cuenca.

Espesas sucesiones grano- y estratocrecientes de edad Paleoceno superior-Oligoceno se conocen al NO y SE de la zona de estudio. Estas series representan una acumulación grano- y estratocreciente de tipo antepaís que comúnmente sobrepasa 5000 m de espesor. Al NO (región de Cusco), el equivalente del Grupo Puno parece ser el Grupo San Jerónimo, y tal vez las unidades pelíticas rojas a las cuales sobreyace (formaciones Chilca y Quilque, Carlotto V. 1998). Al SE (Bolivia), los equivalentes del Grupo Puno son la Formación Tiahuanaco (Altiplano Norte de Bolivia) y el conjunto formado por las formaciones Santa Lucía, Cayara y Potoco (Andes bolivianos). La base de este conjunto está datada en ~60 Ma (base del Paleoceno superior) por magnetoestratigrafía, mientras la base de la Formación Cayara está datada en ~58.2 Ma (Sempere et al., 1997).

Grupo Vilquechico (Campaniano - Paleoceno inferior)

El Grupo Vilquechico ha sido estudiado con bastante detalle por Jaillard et al. (1993), quienes redefinieron su estratigrafía. Descripciones precisas de sus



Foto 1. Vista panorámica del contraste de color visible en el contacto entre las Formaciones Muñani y Vilquechico superior (localidad: UTM 401-8328)

facies se pueden encontrar en la mayoría de los trabajos anteriores. El Grupo Vilquechico descansa sobre la Formación Ayabacas, sellando los olistolitos caóticos característicos de ésta, y subyace a la Formación Muñani (Fig. 9).

El Grupo Vilquechico comprende tres formaciones, hasta ahora referidas como Formación Vilquechico Inferior, Formación Vilquechico Media, y Formación Vilquechico Superior (Jaillard et al., 1993). La Formación Vilquechico Inferior es idéntica a la unidad de pelitas abigarradas descrita por Newell (1949) por debajo de su « Formación Vilquechico » (y luego idéntica a la parte superior de su Grupo Moho; ver más arriba). La Formación Vilquechico Media consiste de las unidades *a* a *d* de la « Formación Vilquechico » de Newell (1949; p. 65), mientras la Formación Vilquechico Superior consiste de las unidades *e* a *g* de la misma (p. 64-65). Las tres formaciones se componen mayormente de pelitas, cuyo color varía a lo largo del perfil estratigráfico. En función de su posición estratigráfica, características y facies asociadas, estas pelitas se depositaron en ambientes de llanura aluvial distal, barreal (*mud flat*), lago, llanura costera, y/o marino restringido y somero.

La Formación Vilquechico Inferior es mayormente pelítica. Presenta un aspecto abigarrado que resulta de la interestratificación de pelitas rojas (dominantes) y de pelitas verdosas yesíferas (Foto 2). En la mitad NE de la Faja de Putina, la Formación Vilquechico Inferior presenta en su base un miembro arenoso espeso de pocas decenas de metros y compuesto de areniscas arcillosas rojas toscamente estratificadas en bancos plurimétricos. Estas areniscas sellan la Formación Ayabacas en toda la zona de Nuñoa, y sobreyacen a la unidad Yanaoco en las cercanías de Huatasane. Hacia arriba, pasan transicionalmente a las pelitas típicas de la Formación Vilquechico Inferior.

La Formación Vilquechico Media está separada de la Formación Vilquechico Inferior por una discontinuidad sedimentaria sencilla y aparentemente plana (Foto 2). Su base está marcada por un miembro arenoso de ~15 m de espesor, regularmente estratificado y levemente

estratocreciente. Sobreyacen varias decenas de metros de facies pelíticas grises a verdosas, en las cuales se encuentra un miembro característico de lutitas negras con delgadas intercalaciones carbonatadas (Fig. 2,3,9). Más arriba, la sucesión continua con interestratificaciones de pelitas rojas y verdosas. En la parte superior de la formación se observa una intercalación plurimétrica de facies carbonatadas y margosas que proporcionaron fósiles marinos (Jaillard et al., 1993) y representan una transgresión. Por sus facies, el miembro de lutitas negras presente en la parte inferior de la unidad representa también una superficie de inundación máxima, que marca la culminación de la transgresión iniciada en la base de la unidad. Estos dos eventos transgresivos proporcionan elementos importantes para las correlaciones.

La Formación Vilquechico Superior está separada de la Formación Vilquechico Media por una leve discontinuidad erosiva. Su base está marcada por un miembro arenoso de ~15 a ~20 m de espesor, que presenta canales con entrecruzamiento de origen fluvial. Sobreyacen pelitas mayormente verdosas intercaladas con numerosos y delgados bancos de areniscas muy finas, frecuentemente cuarcíticas. En las últimas decenas de metros de la formación, las pelitas se vuelven francamente violáceas. Por sus facies más bien fluviales, el cuerpo arenoso basal de la unidad contrasta con los espesos cuerpos pelíticos entre los cuales se inserta, marcando una bajada del nivel de base y por lo tanto una regresión.

Por sus numerosas características, y pese a que las facies francamente carbonatadas son más abundantes en Bolivia, las tres formaciones que componen el Grupo Vilquechico son de fácil correlación con unidades estudiadas y datadas en el vecino país:

- La Formación Vilquechico Inferior es equivalente a la parte superior de la Formación Chaunaca, de facies similares. Por lo tanto es de edad campaniana, probablemente superior dado la larga duración de este piso.
- La Formación Vilquechico Media es equivalente al conjunto formado por el Miembro Inferior y la parte basal



Foto 2. Contraste litológico entre la parte superior de la Formación Vilquechico inferior y la parte inferior de la Formación Vilquechico media (localidad: UTM 400-8327)

del Miembro Medio de la Formación El Molino, cuya base está datada en ~73 Ma (Campaniano terminal) por magnetoestratigrafía (controlada a su vez por 2 edades Ar-Ar; Sempere et al., 1997). En conjunto, el Miembro Inferior de la Formación El Molino representa el mismo ciclo transgresivo-regresivo observado en el Perú, y el miembro de lutitas negras corresponde al período de transgresión máxima (~71.5-70 Ma). La base del Miembro Medio (~66.9 Ma) corresponde a una breve transgresión que está marcada en la zona de estudio por la intercalación marina mencionada más arriba en la parte superior de la unidad. Esta breve transgresión sucede a un período regresivo marcado por paleosuelos, que es datado en Bolivia en ~67.2-66.9 Ma.

- La Formación Vilquechico Superior es equivalente a la mayor parte del Miembro Medio y al Miembro Superior de la Formación El Molino. Se subraya que las facies pelíticas verdosas que se observan en la Formación Vilquechico Superior, e incluso los nódulos diagenéticos que contienen, son similares a lo que se conoce en su equivalente boliviano. El cuerpo arenoso de origen fluvial que forma la base de la Formación Vilquechico Superior y marca una regresión (ver más arriba) se correlaciona con una importante regresión conocida en Bolivia, donde está estimada en ~66.7-66.4 Ma. Cabe mencionar que se estima que la regresión global más aguda conocida en el Maastrichtiano culminó en ~66.3 Ma (Hardenbol et al., 1998).

Estas correlaciones precisas con el país vecino datan el Grupo Vilquechico del Campaniano superior - Paleoceno inferior (~77-60 Ma).

Formación Ayabacas s.s. (Cretácico Medio tardío?)

Esta unidad, inicialmente denominada Formación Ayabacas por Cabrera La Rosa y Petersen (1936), fue definida cerca de la localidad homónima ubicada 10 km al noreste de Juliaca. Sin embargo, la ortografía correcta de este topónimo, como mencionada en los correspondientes mapas topográficos de la República del Perú, y como usada en el mismo pueblo homónimo, es Ayabacas, razón por la cual se usa en este trabajo una denominación con ortografía corregida.

La Formación Ayabacas es una megabrecha (*sensu* Spence y Tucker, 1997) u olistostromo, es decir consiste de una acumulación de olistolitos (De Jong, 1974; Sempere et al., 2000b). Su espesor puede sobrepasar varios centenares de metros y se observa sobre un área superior a 50.000 km², lo que la convierte en una de las megabrechas más voluminosas en el mundo. Los olistolitos que la componen retrabajan estratos que pertenecieron inicialmente a las formaciones Arcurquina y Murco (principalmente), a las formaciones Huancané, Muni y Sipín, y al Paleozoico. Esta unidad marcadamente resedimentada es la que aflora en la localidad de Ayabacas, y por lo tanto esta denominación se aplica a ella. Por su génesis muy particular (ver más adelante), se tiene que restringir la denominación de Formación Ayabacas a esta unidad resedimentada, y por lo tanto la unidad de calizas

regularmente estratificadas que proporcionó el material calcáreo deslizado tiene que describirse bajo otra denominación. Por supuesto, no se puede usar un sólo término para designar a dos unidades distintas: la unidad inicialmente estratificada, y la unidad que resultó de la resedimentación de ella y de su substrato.

Nuestras observaciones e interpretaciones, independientes, resultan coincidir completamente con las de De Jong (1974). Pese a que otros autores reportaron deslizamientos, De Jong (1974) parece ser el único autor anterior en haber identificado claramente las características y origen de esta unidad, a la cual llamó *Titicaca melange* (pero la denominación Ayabacas tiene anterioridad). Vale la pena citar su importante contribución: En la zona de Puno, « ... la estructura es típicamente caótica. Las formaciones del "Grupo Titicaca" [= formaciones Sipín, Muni, Huancané, y Moho; esta última incluye la caliza Ayabacas] se encuentran en bloques grandes (50-500 m) que aparentemente flotan dentro de una matriz más blanda. Bloques adyacentes pueden provenir de formaciones ampliamente separadas en la columna estratigráfica. Pese a que algunos bloques están extremadamente fracturados, otros no lo son. (...) En unos bloques la estratificación está prácticamente horizontal, pero en otros está enderezada o subvertical, y algunos están probablemente invertidos. (...) La matriz alrededor de los bloques (...) es una brecha con clastos grandes y pequeños de calizas y areniscas fracturadas, e incluye partículas extremadamente fragmentadas de pelitas multicolores y areniscas. Los clastos grandes pueden alcanzar 12 m, y es común observar una transición continua entre los tamaños de los bloques más grandes y de los clastos más pequeños de la brecha. Nunca se observó estratificación ». De Jong (1974) deduce correctamente que la unidad que describe « es el resultado de la fragmentación de rocas litificadas del Grupo Titicaca, y del deslizamiento de estas rocas bajo la influencia de la gravedad. [...] Los plegamientos y el olistostromo indican transporte en masa: masa coherente en los pliegues, masa fragmentada en el olistostromo [...] ». De Jong (1974) reconoció correctamente que pendientes importantes tuvieron que ser tectónicamente creadas para permitir que se formen semejantes depósitos de resedimentación en masa de escala tan grande. Tanto sus mediciones como las nuestras indican una mayoría de los deslizamientos hacia el NE.

Pese a que interpretó las características caóticas de la Formación Ayabacas como de origen tectónico, Newell (1949) también proporciona descripciones elocuentes. En la zona de Pirín (p. 25), comenta lo siguiente: « ... La arenisca Huancané, relativamente competente, emerge a través de la masa indescriptible de pelitas rojas mezcladas con grandes bloques de caliza, muchos de los cuales alcanzan varios centenares de metros de largo y ancho. Partes de pliegues de arrastre, comúnmente invertidos o recumbentes, son reconocibles en la arenisca Huancané, pero en muchos lugares ninguna estructura consistente se puede reconocer en los estratos incompetentes del Grupo Moho. Localmente, sobreescurrecimientos muy

fracturados y estructuras imbricadas se pueden reconocer en la caliza Ayavacas. Hasta un exámen moderadamente detallado de cualquier área de estos estratos contorsionados revela que están orientados en cada posición imaginable, con numerosas duplicaciones de los mismos estratos en cada loma (... *the relatively competent Huancane sandstone protrudes through the nondescript mass of macerated red shales and great blocks of limestone, many of which attain a width and breadth of several hundred meters. Parts of drag folds, commonly overturned or recumbent, are recognizable in the Huancane sandstone, but in many places no consistent structure can be recognized in the incompetent beds of the Moho group. Locally, shattered decken, imbricate structures, can be recognized in the Ayavacas limestone. Even a moderately close examination of any area of these contorted Moho beds reveals that they are oriented in every conceivable position with numerous duplications of the same strata in every hillside*). En otra sección de su trabajo (p. 61-62), agrega lo siguiente: «... la caliza está intrincadamente plegada y fallada de tal manera que la unidad está repetida muchas veces en el mismo afloramiento. [...] Un exámen detallado del Ayavacas y de los estratos asociados revela que, en la mayoría de las áreas, la formación está intrincadamente plegada y rota, en desorden extremo, de manera que las orientaciones estructurales generales pueden reconocerse en la masa compleja de caliza triturada sólo con un trabajo de campo atento. [...] En casi todas las áreas de afloramiento del Grupo Moho al noroeste y suroeste del Lago Titicaca, hay claras pruebas de violentas perturbaciones estructurales.

Por ser relativamente débiles, o “incompetentes”, frente a la compresión, estos estratos se han deformado en pliegues isoclinales y recumbentes intrincados y por fallamiento compresivo de bajo ángulo, mientras las formaciones resistentes subyacentes y sobreyacentes están afectadas mucho menos profundamente. [...] La caliza Ayavacas ... ha sido generalmente contorsionada y fracturada de una manera muy característica (... *the limestone is intricately folded and faulted so that the unit is repeated many times in single exposures. [...] A close examination of the Ayavacas and associated red beds reveals that in most areas the formation is intricately folded and broken, in extreme disorder, so that only with detailed field work can the general structural trends be recognized in the complex mass of triturated limestone. [...] In almost all the areas of Moho outcrops southwest and northwest of Lake Titicaca there are clear evidences of violent structural disturbance. Relatively weak, or ‘incompetent’ to compression, these beds have yielded in the form of intricate isoclinal and recumbent folds and low-angle compression faults, whereas subjacent and superjacent strong formations are very much less profoundly affected. [...] The Ayavacas limestone ... has generally been contorted and broken in a very characteristic manner*). Estas observaciones de Newell (1949) coinciden objetivamente con las de De Jong (1974) y con las nuestras (Sempere et al., 2000b), y es probable

que Newell hubiera llegado a las interpretaciones que favorecemos si hubiera entonces tenido acceso a modelos de resedimentación en masa.

La Formación Ayabacas fue depositada en un contexto tectónico marcadamente extensional, como lo demuestran afloramientos de fallas normales controlando deslizamientos de calizas y selladas por el Grupo Vilquechico (como en UTM 313-8409 y 317-8413; Sempere et al., 2000b). El contacto basal de la Formación Ayabacas es un plano de deslizamiento que se puede asimilar a una superficie de erosión (en el sentido que se ha sustraído un material inicialmente depositado), así como a una falla gravitacional de bajo ángulo, contemporánea de la sedimentación o muy precoz. Los espesores más importantes, que corresponden a zonas hundidas durante el período extensional, se observan al sur de Nuñoa, al SO de Asillo y entre Asillo y San Antón, al SO de Chupa, en la península de Pusi, en la zona de Ilave y al sur de esta localidad. Por otra parte, la Formación Ayabacas no parece existir al NE del cabalgamiento de Azángaro, de lo cual se concluye que la sub-faja NE de Putina se comportó como zona alta durante este episodio. También está ausente en algunas localidades situadas al SO de este frente, como al SE de Chupa (401-8326) y en Huancarani (380-8341), las cuales corresponden probablemente a áreas levantadas durante el período extensional.

La Formación Ayabacas retrabaja calizas que proporcionaron fósiles (albo-?)cenomanianos (Newell, 1949; Palacios et al., 1993; Jaillard, 1995). Por otra parte, como ya fue notado por De Jong (1974) y Sempere et al. (2000b), está sellada por los grupos Vilquechico (por ejemplo en UTM 399-8327, 389-8328, y en toda la zona de Nuñoa) o Puno (por ejemplo a lo largo de la franja oeste de la península de Pusi y en toda la zona ubicada al suroeste del Lago Titicaca). En la zona de Sicuani, Audebaud (1971) también observó que su Formación Hanchipacha (equivalente local del Grupo Vilquechico) sella la Formación Ayabacas. Estos hechos implican que la tectónica extensional que generó la resedimentación se produjo entre el Cenomaniano y el Campaniano.

Formaciones Angostura, Murco y Arcurquina (Cretácico Medio a Inferior)

La propuesta de usar estas denominaciones proviene de las necesidades siguientes:

- abandonar la denominación « Moho », como quedo demostrado más arriba;
- distinguir claramente, por razones genéticas, entre las unidades inicialmente estratificadas que fueron posteriormente resedimentadas, y la Formación Ayabacas que resultó de esta resedimentación;
- tomar en cuenta las similitudes litológicas y paleontológicas entre dos de estas unidades altiplánicas y las observables en la región de Arequipa.

En la zona de estudio, este conjunto se sobrepone a una superficie de discontinuidad en forma de *onlap*, sellando manifestaciones tectónicas (también conocidas

en todo el Perú y en Bolivia; Sempere et al., 2002 y este volumen). Esta superficie corresponde a una superficie de erosión notable, y, más localmente, a una superficie de no-deposición.

En las áreas occidentales de la zona de estudio, este conjunto empieza con estratos arenosos a conglomerádicos que conforman la Formación Angostura (Klinck et al., 1986; Palacios y Ellison, 1986; Palacios et al., 1993), la cual descansa en forma discordante sobre el Paleozoico (Tayataya, UTM 347-8266), sobre granitoides permo-triásicos (zona de Santa Rosa entre Sicuani y Ayaviri), sobre el Grupo Mitu (Colque, 348-8326 y 350-8330), o sobre estratos jurásicos deformados (Lagunillas, 326-8251; Huertas, 354-8265). Antes de su definición por los mencionados autores, esta formación mayormente arenosa había sido constantemente confundida con la también arenosa Formación Huancané. La Formación Angostura es grano- y estratodecreciente, con un aumento de las intercalaciones de limolitas y pelitas rojas hacia arriba, y, en algunas localidades (Colque, Huertas), contiene intercalaciones de bancos de caliza de espesor métrico. Se vuelve muy conglomerádica en la zona de Lagunillas, donde Newell (1949, p. 57) describió su equivalente local como «conglomerado Saracocha».

En este área, la Formación Murco consiste mayormente de pelitas y limolitas rojas, y de escasas intercalaciones de canales arenosos. Estas facies son típicas de la parte NE de la zona de estudio, donde descansan directamente, en discontinuidad, sobre la Formación Huancané (Fotos 3, 4, 5, 6), es decir sin la presencia de las facies gruesas típicas de la Formación Angostura. Hacia arriba, estas pelitas y limolitas rojas se intercalan con bancos de calizas grises, que se vuelven más frecuentes y espesos, pasando en forma transicional a la Formación Arcurquina local, la cual es dominada por estas facies calcáreas. La resedimentación en masa que generó la Formación Ayabacas re trabajó mayormente un material proveniente de estas dos formaciones. Se subraya

una vez más que las calizas presentes en la Formación Arcurquina son regularmente estratificadas, mientras que las de la Formación Ayabacas están deformadas por los procesos de resedimentación a los cuales fueron sometidas después de su depositación inicial. En Yanaoco (UTM 411-8316), se observa en forma espectacular como olistolitos calcáreos caóticos, pertenecientes a la Formación Ayabacas, sobreyacen en discordancia a varias decenas de metros de estratos calcáreos regulares, que pertenecen a la Formación Arcurquina.

Las formaciones Murco y Arcurquina de la región del Lago Titicaca son correlativas de las formaciones Murco y Arcurquina de la región de Arequipa, como lo demuestran sus facies y las faunas presentes en las calizas. Las facies calcáreas de cada área representan la misma transgresión albo-cenomaniana (Jaillard, 1995), la cual fue diacrónica pero puede usarse como horizonte aproximado de correlación en zonas de área limitada. El hecho que en algunas localidades la Formación Angostura contiene intercalaciones de calizas de facies similar demuestra por lo tanto que esta unidad es en parte lateralmente equivalente a las pelitas y limolitas rojas características de la Formación Murco, la cual es también anterior a la transgresión manifestada por las calizas de la Formación Arcurquina. Esta transición lateral entre facies gruesas al oeste y facies finas al este confirma que estas dos partes de la zona de estudio corresponden a dos dominios paleogeográficos distintos (Palacios y Ellison, 1986).

Formaciones Muni y Huancané (Dogger superior - Malm inferior)

Definida por Newell (1949) cerca del pueblo homónimo, la Formación Huancané fue desde entonces confundida con la unidad definida posteriormente como Formación Angostura (Klinck et al., 1986; Palacios y Ellison, 1986). De esta confusión nació la idea, errónea pero muchas veces reiterada, que la Formación Huancané es



Foto 3. La sección de Yanaoco muestra claramente las relaciones estratigráficas existentes entre las formaciones Huancané, Murco, Arcurquina y Ayabacas; vista hacia el noroeste

«discordante » sobre su substrato. En realidad, una diferencia fundamental entre las formaciones Angostura y Huancané es que la primera se apoya discordantemente sobre un substrato variado, mientras la segunda pasa transicionalmente hacia abajo a la Formación Muni (Fotos 6, 7).

Newell (1949) ya describió implícitamente una transición entre la Formación Muni, compuesta de pelitas y limolitas rojas que se intercalan hacia arriba con canales arenosos en forma estratocreciente, y la Formación Huancané, que hacia su base se intercala con pelitas rojas. Este hecho, evidente en el campo, fue claramente observado por algunos autores (Klinck et al., 1986; Palacios y Ellison, 1986; Palacios et al., 1993), y nuestras observaciones independientes lo han confirmado en todos los perfiles estudiados (Fig. 9).

Las facies arenosas y localmente conglomerádicas que caracterizan la Formación Huancané indican que se depositó en un ambiente fluvial de tipo trenzado, localmente bastante proximal, donde se desarrollaban episódicamente procesos eólicos que retrabajaban la arena disponible en forma de dunas (Foto 8). Las facies finas rojas de la Formación Muni representan depósitos de llanura aluvial, bastante distal, a llanura costera (puesto que esta unidad contiene intercalaciones marinas hacia el suroeste). La evolución transicional de la Formación Muni a la Formación Huancané corresponde a la progradación de un ambiente fluvio-eólico sobre un ambiente aluvial distal. Esta progradación se debe probablemente a un evento tectónico que afectó las zonas de aporte, puesto que registra un nítido aumento en material clástico arenoso, y localmente conglomerádico.

En una localidad de la zona de estudio (Huancarani, UTM 380-8341), se observa que la Formación Muni a su vez pasa transicionalmente hacia abajo a una unidad compuesta de varias decenas de metros de

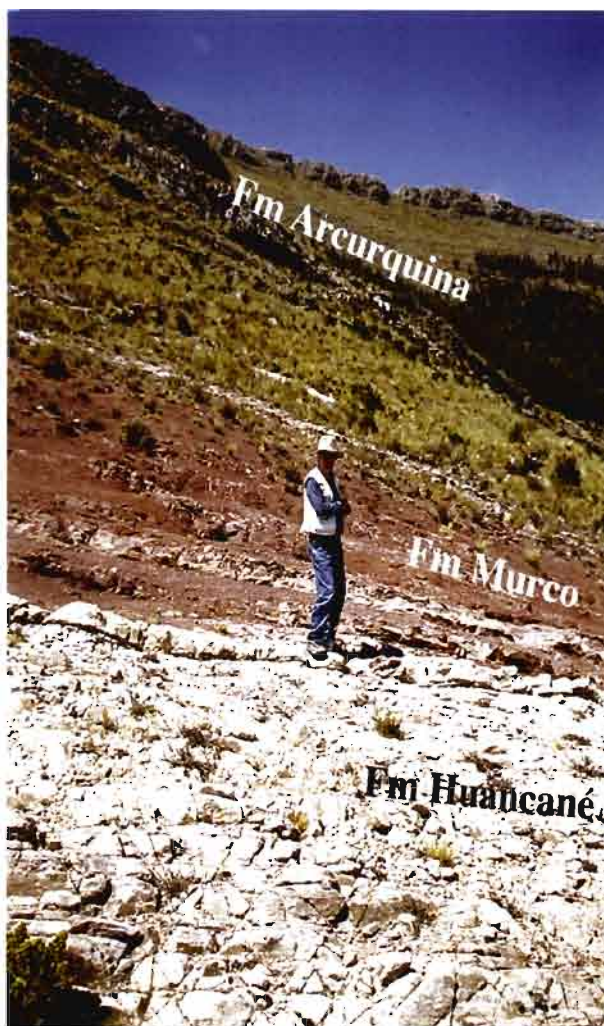


Foto 4. El geólogo está parado sobre la superficie de discontinuidad que separa las formaciones Huancané y Murco; sección de Yanaoco, vista hacia el noreste.



Foto 5. La parte inferior de la sección de Yanaoco muestra claramente las relaciones estratigráficas existentes entre las formaciones Sipín, Muni y Huancané; vista hacia el norte

conglomerados rojizos que presentan facies de abanicos aluviales a ríos proximales y descansan en fuerte discontinuidad erosiva sobre la unidad Quilcapunco (ver más adelante). La sucesión formada por estos conglomerados y las formaciones Muni y Huancané recuerda a la sucesión conformada por las formaciones Huambutío y Huancané al sureste de Cusco (Carlotto, 1989, 1998; Carlotto et al., 1991; Huambutío, UTM 206-8497), donde la Formación Huambutío comprende un miembro superior pelítico rojo que contiene intercalaciones de calizas y es similar a la Formación Muni. Por lo tanto, se denomina la potente unidad conglomerádica reconocida en Huancarani como Formación Huambutío.

Los delgados bancos de calizas fosilíferas marinas que se intercalan en la Formación Muni en la península de Pusi han proporcionado una fauna sugestiva de una edad Dogger superior a Malm inferior (Newell, 1949, p. 54-55). En Huambutío, lutitas negras intercaladas en la parte inferior de la Formación Huancané han proporcionado palinomorfos sugestivos de una edad neocomiana (la hipótesis más citada) o caloviana (Doubinger y Marocco, 1976, p. 86). Cabe notar que el Caloviano es aparentemente la época de mayor inundación marina en todo el Sur del Perú (Sempere et al., 2002). Por lo tanto, sospechamos que este notable e inhabitual nivel de lutitas ricas en materia orgánica podría representar el equivalente marginal de esta transgresión. En este trabajo damos la preferencia a esta

hipótesis y por lo tanto proponemos que la edad de estos niveles es en realidad caloviana.

El conjunto formado por las formaciones Huambutío (donde está presente), Muni y Huancané descansa sobre el conjunto infrayacente con una discontinuidad que marca, según las localidades, una erosión o una paleoalteración.

Unidad Quilcapunco y Formación Sipín (Liásico - Dogger inferior)

Al suroeste del frente de cabalgamiento de Azángaro y a lo largo del borde NE de la Faja de Putina aflora un conjunto estratigráfico particular que subyace a la Formación Muni (o a la Formación Huambutío donde está presente) y sobreyace al Grupo Mitu o directamente al Paleozoico. Su límite inferior es una discontinuidad simple, localmente levemente erosiva, mientras su límite superior es la superficie de erosión y/o paleoalteración mencionada en el párrafo anterior.

En la península de Pusi este conjunto está representado por la Formación Sipín de Newell (1949), que descansa directamente sobre el Devónico en esta zona. Más al norte, en Yanaoco (UTM 411-8316), la Formación Sipín tiene ~15 m de espesor y consiste de calizas, calizas margosas y margas negruzcas (Foto 9). Sobreyace transicionalmente a areniscas finas blanquecinas que a su



Foto 6. La sección de Yanaoco ilustra la transición estratigráfica entre las formaciones Muni y Huancané, así como la discontinuidad que separa las formaciones Huancané y Murco; vista hacia el este

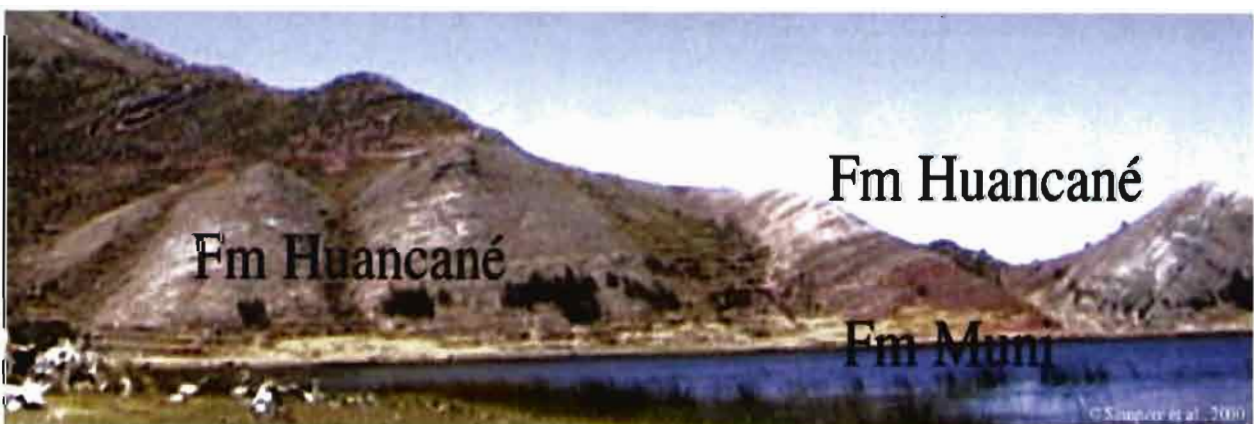


Foto 7. La parte inferior de la sección de Yanaoco ilustra la transición estratigráfica existente entre las formaciones Muni y Huancané; vista hacia el este

vez sobreyacen al Paleozoico (aunque el contacto no aflora, la relación cartográfica es clara). En esta localidad, el contacto entre las formaciones Sipín y Muni está marcado por una paleoalteración que afecta los metros superiores de las calizas en forma descendiente, cambiando su color negro a un color típicamente marrón anaranjado que desaparece hacia abajo.

En Caquincorani, ~4 km al ESE de Asillo (UTM 358-8384), la Formación Sipín está también representada por calizas negras que afloran por debajo de la Formación Muni, mostrando la misma paleoalteración en su tope. Sin embargo, esta unidad calcárea parece estar ausente entre este punto y Chupa, probablemente debido a los fenómenos de erosión expresados por la Formación Huambutío que se observa justamente en esta área (Huancarani; ver más arriba). La Formación Sipín vuelve a aparecer al SE de Chupa (UTM 400-8326), donde se la observa bajo una facies dolomítica de pocos metros de espesor. En las localidades donde presenta facies francamente calcáreas, la Formación Sipín contiene fósiles marinos generalmente mal preservados, indeterminables pero de aspecto mesozoico.

Sin embargo, en la parte basal del perfil de Yanaoco, se recolectaron especímenes completos de equínidos pertenecientes al género *Diademopsis*, que es solamente conocido en el intervalo de tiempo Retiano-Bajociano (det. Dr. D. Néraudeau, Universidad de Rennes, Francia; Sempere et al., 2002). Este hallazgo demuestra que la Formación Sipín es, por lo menos en parte, un equivalente lateral de la Formación Socosani de la región de Arequipa. La Formación Sipín sobreyace a una unidad mayormente arenosa que descansa en discontinuidad sobre el Grupo Mitu o en discordancia sobre el Paleozoico. Esta unidad resulta ser nueva del punto de vista estratigráfico, y la denominamos provisionalmente “unidad Quilcapunco”, del nombre de un pueblo ubicado ~10 km al este de Putina

(afloramientos en UTM 421-8352; columna en parte ilustrada por Jaillard [1995] en su figura 11, p. 151). Su espesor puede alcanzar los 400 m. Está principalmente compuesta por areniscas fluvio-eólicas blanquecinas, pero también se observan localmente delgados niveles de pelitas rojas (representando depósitos inter-canales), y conglomerados (indicando ríos con más caudal). Clastos de caliza provenientes del Grupo Copacabana se observan cerca de la base de la unidad (por ejemplo en Caquincorani) y, más particularmente, en el « conglomerado Chupa », definido por Klinck et al. (1986) en Bichoco (UTM 401-8325). Newell (1949) asignó esta unidad a su « Grupo Cotacucho » y la interpretó erróneamente como evidencia de que este grupo traslapaba (*overlapped*) hacia el NE (p.62). Lo que llamamos “unidad Quilcapunco” fue mapeado por INGEMMET como Formación Huancané en la zona de Nuñoa y entre Azángaro y Arapa, y como Grupo Ambo en la zona al SE de Asillo. Evidentemente, la ubicación estratigráfica de esta unidad entre la Formación Sipín y el grupo Mitu vuelve necesaria una denominación nueva, por lo menos provisionalmente.

Mientras la Formación Sipín está solamente presente en afloramientos ubicados al SO del frente de cabalgamiento de Azángaro, la unidad Quilcapunco se observa en los bordes SO y NE de la Faja de Putina, así como en algunos afloramientos ubicados dentro de ella (es imposible observarla en las numerosas zonas donde el despegue principal ocurre en la sobreyacente Formación Muni). La Formación Sipín parece acunarse hacia el NE a lo largo de una línea que coincide aproximadamente con la parte axial de la Faja de Putina. Hacia el NO, pero al suroeste de esta línea, las calizas que subyacen a la Formación Huambutío en Huambutío pueden representar la Formación Sipín por su posición estratigráfica.

El carácter marino de la Formación Sipín aumenta



Foto 8. Duna eólica, caracterizada por su estratificación oblicua tabular, intercalada en los estratos de la transición entre las formaciones Muni y Huancané (UTM 402-8325)

hacia el SO, culminando cerca de Cabanillas (Huertas, UTM 354-8265) donde un afloramiento clave fue correctamente reconocido como Formación Sipín por Klinck et al. (1986), Palacios y Ellison (1986), Batty y Jaillard (1989), y Palacios et al. (1993). Newell (1949, p. 45-46) señala en las calizas de este afloramiento de Huertas « fósiles mesozoicos muy similares a los del Jurásico en Lagunillas (*Mesozoic fossils ... very like the faunas of the Jurassic at Lagunillas*) », lo que vuelve muy probable que la Formación Sipín represente un equivalente nororiental más somero de la espesa unidad transgresiva (~500 m) de calizas sinemurianas a bajocianas (Vicente, 1981, p. 338) descritas en la parte inferior del « Grupo Lagunillas », las cuales son equivalentes cronológicos de la Formación Socosani de la región de Arequipa.

Grupo Mitu (Pérmico superior - Triásico)

El Grupo Mitu sólo está presente en algunas áreas de la zona de estudio, reflejando el hecho que fue depositado en grábenes dentro de un sistema de *rifts* (Kontak et al., 1985; Sempere et al., 2002 y este volumen). Aflora en las áreas de Estación Pucará (UTM 360-8338), Arapa (entre 376-8336 y 384-8327, como correctamente identificado por De Jong, 1974), Colque (348-8326 y 350-8330), Juliaca-Lampa (donde está dominada por rocas volcánicas y denominado Grupo Isca; Klinck et al., 1986), y a lo largo del margen noreste de la Faja de Putina. Comprende facies rojas de abanicos aluviales, ríos proximales a distales, llanura aluvial y lagos, en las cuales se intercalan niveles de calizas, cuerpos evaporíticos y coladas volcánicas cuyos espesores pueden sobrepasar

varias decenas de metros. Se observa con relativa frecuencia cuerpos ígneos que intruyen al grupo Mitu sin afectar a las unidades que le sobreyacen, sugiriendo que este magmatismo se desarrolló durante el mismo período de *rifting*. En este respecto, cabe subrayar que la tonalita Huisaroque (368-8332) y un dique de riolita muestreado al sureste de Santa Rosa (312-8374) proporcionaron edades triásicas (K-Ar sobre biotita) de 236 ± 6 Ma (Klinck et al., 1986) y 244 ± 6 Ma (Sempere et al., 2002), respectivamente.

Una de las características más llamativas del Grupo Mitu en la zona de estudio es la presencia de olistolitos, evidenciando que fallas activas en los bordes de los grábenes mantenían pendientes inestables de donde se desprendían grandes bloques en forma catastrófica. Un gran olistolito de estratos paleozoicos, espeso de varias decenas de metros, se puede observar en Bichoco (UTM 401-8325) por debajo del « conglomerado Chupa », el cual incluye numerosos clastos de calizas del Grupo Copacabana. Apenas 4 km al sureste de Bichoco, el afloramiento de Grupo Copacabana mapeado por INGEMMET entre los puntos UTM 404-8324 y 405-8323 representa probablemente un enorme olistolito de esta formación dentro del grupo Mitu local, que tal vez fue la fuente de estos clastos calcáreos. En Bichoco, el mencionado olistolito de Paleozoico sobreyace a una masa también resedimentada de areniscas arcillosas amarillentas mezcladas con pelitas rosadas, el Paleozoico regularmente estratificado encontrándose todavía más abajo en la sucesión. Al norte y noroeste de Nuñoa, es común observar calizas grises replegadas, de pocos metros de espesor, resedimentadas dentro del Grupo Mitu, así como areniscas y/o pelitas rojas también deslizadas. Estas



Foto 9. Calizas y calizas margosas de la Formación Sipín en la sección de Yanaoco; el grupo de geólogos está rodeando el sitio fosilífero que proporcionó equínidos del género *Diademopsis* sp., cuyo rango cronológico es Retiano-Bajociano

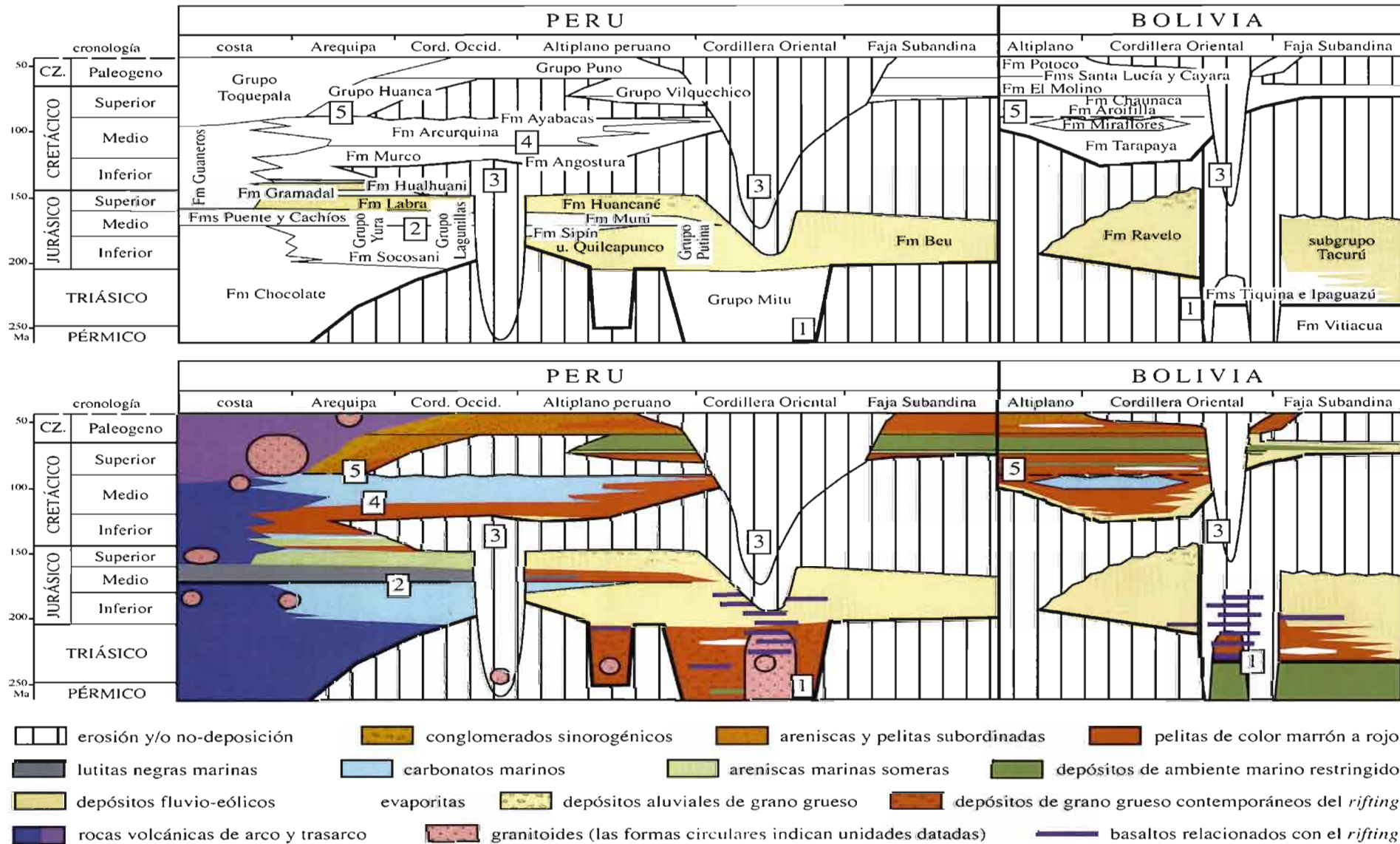


Fig. 10: Transversal estratigráfica Mollendo-Putina (entre 17°S-72°W y 15°S-70°W) (modificado de Sempere et al., 2002). La zona de estudio corresponde a la columna "Altiplano peruano", donde se reprodujo la estratigrafía de la figura 9. Números enmarcados: 1= rifting Pérmico superior-Triásico; 2= hundimiento de la cuenca de Arequipa; 3= levantamientos del Jurásico terminal-Cretácico inferior en la zona de Lagunillas; 4= transgresión (onlap) del Cretácico medio; 5= iniciación de las cuencas de tipo antepaís

observaciones están de acuerdo con lo que se sabe del contexto tectónico marcadamente extensional en el cual se depositó el Grupo Mitu (Sempere et al., en prensa).

CORRELACIONES Y CONCLUSIONES

La cronología propuesta en este trabajo está en parte basada sobre correlaciones con regiones vecinas del Perú y con Bolivia (Fig. 10). Subrayamos que la estratigrafía presentada en este trabajo comparte varios puntos comunes con la estratigrafía mesozoica-paleógena de la vecina Bolivia.

El equivalente boliviano del Grupo Mitu es la parte inferior del Grupo Serere (Sempere et al., 1998, 2002 y este volumen). La mitad superior del Grupo Serere se compone de areniscas fluvio-eólicas bastante parecidas a las de la unidad Quilcapunco y de la Formación Huancané. En este respecto vale mencionar que hacia el noreste de la Faja de Putina, la Formación Muni se adelgaza (mientras la Formación Sipín desaparece) de tal forma que la unidad Quilcapunco y la Formación Huancané, que consisten de facies parecidas, tendrían que volverse coalescentes en esa dirección. Este hecho está en realidad comprobado por la existencia, en la Faja Subandina de la zona fronteriza entre Perú y Bolivia, de una unidad única, llamada Formación Beu, que consiste de varios centenares de metros de areniscas fluvio-eólicas. Los equivalentes de la Formación Beu son la Formación Ravelo en Bolivia andina y el subgrupo Tacurú en la región chaqueña, todas unidades eminentemente arenosas, espesas, y de origen fluvio-eólico (Oller y Sempere, 1990; Sempere, 1994; Sempere, 1995; Sempere et al., 2002 y este volumen; Fig. 10). Por lo tanto los conjuntos Quilcapunco-Sipín y Muni-Huancané pueden ser agrupados en un sólo grupo (que se podría llamar "Grupo Putina", por ejemplo). De esta forma el conjunto Quilcapunco-Sipín se podría denominar "Grupo Putina inferior", y el Muni-Huancané "Grupo Putina superior". En su conjunto, las facies observadas en este "Grupo Putina" representan ambientes marinos muy someros, de llanura costera (con lagunas evaporíticas), de llanura de inundación, fluvio-eólicos, y fluviales (distales

a proximales). El "Grupo Putina" resulta ser el equivalente nororiental, de ambientes marino muy somero a continental, del « Grupo Lagunillas » de Newell (1949), de ambientes marinos más profundos, que a su vez es equivalente al Grupo Yura de la región de Arequipa (Newell, 1949; Jaillard y Santander, 1992; Jaillard, 1994; Sempere et al., en prensa).

Manifestaciones tectónicas de edad Jurásico terminal - Cretácico inferior, similares a las que se observan selladas por las formaciones Angostura o Murco en la zona de estudio, se conocen en muchas partes del Perú y en Bolivia (Sempere et al., 2002). Son ellas que produjeron la fuerte discontinuidad que se observa en el techo de los grupos Putina (Perú) y Serere (Bolivia), es decir en la base de las formaciones Angostura o Murco (zona de estudio, Perú) y del Grupo Puca inferior (Bolivia). Las formaciones Murco y Arcuquina se reconocen en Bolivia, donde su equivalente comprende las formaciones Tarapaya (limolitas y pelitas rojas, con base traslapante) y Miraflores (calizas regularmente estratificadas; Jaillard y Sempere, 1991).

Procesos extensionales importantes ocurrieron en el Perú entre el Cretácico medio y superior, y generaron una descomunal resedimentación en masa, cuyos productos se describen como Formación Ayabacas. Aunque no tuvo la misma intensidad, la discontinuidad que en Bolivia separa el Grupo Puca superior del Grupo Puca inferior tiene probablemente el mismo origen.

Los Grupos Vilquechico y Puno tienen expresiones bastante parecidas en Bolivia. En particular, el primero es equivalente al conjunto formado por las formaciones Aroifilla, Chaunaca y El Molino.

Las otras correlaciones se encuentran ilustradas en la Figura 10, la cual pone de manifiesto la coherencia regional de la estratigrafía propuesta.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el IRD (antes ORSTOM) en el marco del convenio UNSAAC-IRD. Agradecemos a J. Berrospi, G. Carlier, M. Fornari, W. Hermoza, I. Ibarra, M. Mamani y R. Rodríguez por su soporte en el campo.

REFERENCIAS

- AUDEBAUD E. (1971).- Mise au point sur la stratigraphie et la tectonique des calcaires cénomaniens du Sud-Est péruvien (formation Ayavacas). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, série D*, v. 272, p. 1059-1062.
- AUDEBAUD E., LAUBACHER G. & MAROCCO R. (1976).- Coupe géologique des Andes du sud du Pérou, de l'océan Pacifique au bouclier brésilien. *Geologische Rundschau*, v. 25, p. 223-264.
- BAINS S., CORFIELD R.M. & NORRIS R.D. (1999).- Mechanisms of climate warming at the end of the Paleocene. *Science*, v. 285, p. 724-727.
- BATTY M. & JAILLARD E. (1989).- La sedimentación neocomiana (Jurásico terminal - Aptiano) en el sur del Perú. In: L.A. Spalletti (Editor), *Contribuciones de los simposios sobre el Cretácico de América Latina* (parte A: Eventos y Registro Sedimentario), Buenos Aires, p. 75-88.
- CABRERA LA ROSA A. & PETERSEN G. (1936).- Reconocimiento geológico de los yacimientos petrolíferos del departamento de Puno. *Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas y Petróleo del Perú*, n° 115, 100 p.
- CARLOTTO V. (1989).- Formación Huambutío: Nueva unidad estratigráfica, marcador del evento tectónico-sedimentario infraneocomiano. I Workshop sobre el Cretáceo en el Perú. Lima, p. 5.
- CARLOTTO V. (1998).- Evolution andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13°-16°S, Pérou). Tesis de doctorado, Université de Grenoble, Francia, 159p.
- CARLOTTO V., CÁRDENAS J., CHÁVEZ R., GIL W., JAILLARD E. & CARLIER G. (1991).- Estratigrafía de la Formación Huambutío (Kimmeridgiano-Berriasiano), Cusco, Perú. VII Congreso Peruano de Geología, p. 591-597.
- DE JONG K. A. (1974).- Mélange (olistostrome) near Lago Titicaca, Peru. *The American Association of Petroleum*

- Geologists Bulletin, v. 58, p. 729-741.
- DOUBINGER J. & MAROCCO R.** (1976).- Découverte d'une microflore wealdienne (Néocomien) dans la région de Cuzco (Sud du Pérou). Première datation des grès Huancané. Bulletin des Sciences Géologiques, Strasbourg, v. 29, p. 79-89.
- ELLISON R. A.** (1985).- Nuevos aspectos de la estratigrafía cretácica en la región del Lago Titicaca del Sur del Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 75, p. 51-63.
- HARDENBOL J., THIERRY J., FARLEY M. B., JACQUIN T., DE GRACIANSKY P. C. & VAIL P. R.** (1998).- Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins, chart 1. In: P.-C. de Graciansky, J. Hardenbol, T. Jacquin y P.R. Vail (Editores), *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*, SEPM Special Publication 60.
- JAILLARD E.** (1994).- Kimmeridgian to Paleocene tectonic and geodynamic evolution of the Peruvian (and Ecuadorian) margin. In: J.A. Salfity (Editor), *Cretaceous tectonics of the Andes*, Vieweg, Wiesbaden, Alemania, p. 101-167.
- JAILLARD E.** (1995).- La sedimentación albiana-turoniana en el sur del Perú (Arequipa - Puno - Putina). Sociedad Geológica del Perú, Volumen Jubilar Alberto Benavides, p. 135-157.
- JAILLARD E. & SEMPERE T.** (1991).- Las secuencias sedimentarias de la Formación Miraflores y su significado cronoestratigráfico. Revista Técnica de YPFB, Santa Cruz, Bolivia, v. 12, p. 257-264.
- JAILLARD E. & SANTANDER G.** (1992).- La tectónica polifásica en escamas de la zona de Mañazo-Lagunillas (Puno, sur del Perú). Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines, Lima, v. 21 (1), p. 37-58.
- JAILLARD E., CAPPETTA H., ELLENBERGER P., FEIST M., GRAMBAST-FESSARD N., LEFRANC J.-P. & SIGÉ B.** (1993).- Sedimentology, paleontology, biostratigraphy and correlation of the Late Cretaceous Vilquechico Group of Southern Peru. Cretaceous Research, v. 14, p. 623-661.
- KLINCK B.A., ALLISON R.A., HAWKINS M. P.** (1986).- The geology of the Cordillera Occidental and Altiplano West of Lake Titicaca, Southern Peru. British Geological Survey, Nottingham, e INGEMMET, Lima, 353 p.
- KONTAK D.J., CLARK A.H., FARRAR E. & STRONG D.F.** (1985).- The rift associated Permo-Triassic magmatism of the Eastern Cordillera: a precursor to the Andean orogeny. In: W.S. Pitcher, M.P. Atherton, J. Cobbing y R.D. Beckinsale (Editores), *Magmatism at a plate edge: The Peruvian Andes*. Blackie, Glasgow, y Halsted Press, New York, p. 36-44.
- LAUBACHER G.** (1978).- Géologie de la Cordillère Orientale et de l'Altiplano au nord et nord-ouest du lac Titicaca (Pérou). Travaux et Documents de l'ORSTOM, v. 95, 217 p.
- LAUBACHER G. & MAROCCO R.** (1990).- La cuenca cretácica del Altiplano Peruano: litoestratigrafía e interpretación secuencial. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 81, p. 33-46.
- NEWELL N.D.** (1945).- Investigaciones geológicas en las zonas circunvecinas al Lago Titicaca. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 18, p. 44-68.
- NEWELL N.D.** (1946).- Geologic investigations around Lake Titicaca. American Journal of Science, v. 244, p. 357-366.
- NEWELL N.D.** (1949).- Geology of the Lake Titicaca region, Peru and Bolivia. Geological Society of America Memoir, v. 36, 111 p.
- OLLER J. & SEMPERE T.** (1990).- A fluvio-eolian sequence of probable middle Triassic-Jurassic age in both Andean and Subandean Bolivia. I International Symposium on Andean Geodynamics, Grenoble, p. 237-240.
- PALACIOS O. & ELLISON R.** (1986).- El sistema cretácico en la región del Lago Titicaca. I Simposio del Proyecto PICG 242, La Paz, p. 32-51.
- PALACIOS O., DE LA CRUZ J., DE LA CRUZ N., KLINCK B.A., ALLISON R.A. & HAWKINS M.P.** (1993).- Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca, Sur del Perú. Boletín del INGEMMET, serie A, v. 42, 257 p.
- PORTUGAL J.** (1974).- Mesozoic and Cenozoic stratigraphy and tectonic events of Puno-Santa Lucía area. Department of Puno, Peru. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 58, p. 982-999.
- RASSMUSS J.E.** (1935).- Informe sobre la región petrolífera de Puno. Boletín de la Dirección de Minas y Petróleo del Ministerio de Fomento del Perú, año 15, n° 45.
- SEMPERE T.** (1994).- Kimmeridgian? to Paleocene tectonic evolution of Bolivia. In: Cretaceous tectonics in the Andes, J.A. Salfity (Editor), Vieweg, Wiesbaden, Alemania, p. 168-212.
- SEMPERE T.** (1995).- Phanerozoic evolution of Bolivia and adjacent regions. In: Petroleum Basins of South America, A.J. Tankard, R. Suárez-Soruco y H.J. Welsink (Editores), AAPG Memoir 62, p. 207-230.
- SEMPERE T., BUTLER R.F., RICHARDS D.R., MARSHALL L.G., SHARP W. & SWISHER III C.C.** (1997).- Stratigraphy and chronology of Late Cretaceous - Early Paleogene strata in Bolivia and northwest Argentina. Geological Society of America Bulletin, v. 109, p. 709-727.
- SEMPERE T., CARLIER G., CARLOTTO V. & JACAY J.** (1998).- Rifting Permico superior - Jurásico medio en la Cordillera Oriental de Perú y Bolivia. Memorias, XIII Congreso Geológico Boliviano, Potosí, v. 1, p. 31-38.
- SEMPERE T., ACOSTA H. & CARLOTTO V.** (2000a).- Estratigrafía del Mesozoico y Paleógeno en la región del Lago Titicaca: hacia una solución?. X Congreso Peruano de Geología, Lima, p. 52 (res.) and CD-ROM file GR50A (41 p.).
- SEMPERE T., JACAY J., CARRILLO M.-A., GÓMEZ P., ODONNE F. & BIRABEN V.** (2000b).- Características y génesis de la Formación Ayabacas (departamentos de Puno y Cusco). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Lima, v. 90, p. 69-76.
- 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.
- SIGÉ B., SEMPERE T., BUTLER R.F., MARSHALL L.G., & CROCHET J.-Y.** (2004).- Age and stratigraphic reassessment of the fossil-bearing Laguna Umayo red mudstone unit. SE Peru, from regional stratigraphy, fossil record, and paleomagnetism. Geobios, en prensa.
- SPENCE G.H. & TUCKER M.E.** (1997).- Genesis of limestone megabreccias and their significance in carbonate sequence stratigraphic models: a review. Sedimentary Geology, v. 112, p. 163-193.
- VICENTE J.-C.** (1981).- Elementos de la estratigrafía mesozoica sur-peruana. In: W. Volkheimer y E.A. Musacchio (Editores), *Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur*. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico, Buenos Aires, v.1, p. 319-351.