



Elementos para una actualización de la estratigrafía del Grupo Moquegua, sur del Perú

Thierry Sempere¹, Javier Jacay², y Fredy García³

¹ IRD e ISTerre, Université Savoie–Mont Blanc, 73376 Le Bourget-du-Lac, Francia (thierrysempere@icloud.com)

² Escuela de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú

³ EAP Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela cda 34 s/n, Lima 1, Perú

ABSTRACT

The Moquegua Group of southern Peru was deposited in the Central Andean forearc from the Early Eocene (and possibly latest Paleocene) to the Pliocene, almost exclusively in continental environments. This mega-unit groups 4 units that are characterized as follows:

- The “Moquegua A” unit (MoqA) consists of dominantly fine-grained red beds, locally with gypsum. Its base is inferred to be diachronic and as old as ~50-55 Ma; its top is locally dated ~45 Ma.

- The “Moquegua B” unit (MoqB) is highly variable in lithology, depending on position in the sub-basins. Dominantly coarse conglomerates of fluvial origin (Caravelí, Aplao, Huanca areas) laterally grade into reddish sandstones and siltstones deposited in apparently endorrheic alluvial environments, locally including gypsum and/or aeolian sandstones. Its base and top are dated ~45 and 30 Ma, respectively, albeit in distinct sub-basins.

Both units MoqA and MoqB commonly display synsedimentary extensional features, exhibit a dominant reddish color, and include very little pyroclastic material. Because of these shared features and the fact that they were deposited in the same sub-basins of the Moquegua Basin, locally without apparent discontinuity, they can be collectively referred to as the “Lower Moquegua subgroup” (MoqA+B). Given that these accumulations were

coeval with normal faulting, it is likely that they were driven by extensional collapse of the Toquepala arc, which had been active in the same area between ~90 and ~53 Ma.

- In contrast, the “Moquegua C” unit (MoqC) consists of dominantly tuffaceous volcanoclastic strata and intercalated lacustrine deposits, pyroclastic beds, and large ignimbrite flows. This unit was deposited over a significantly broader area than the MoqA+B. Its base is dated 30 Ma in the Moquegua area; ~25 Ma-old marine strata occur in the small, western Caravelí-Cunucuno area; the top of the MoqC unit is ~23 Ma along the coastal area, but is markedly diachronic (up to <13 Ma?) along the Western Cordillera and in related paleovalleys, leading to a tentative distinction between MoqC1 and MoqC2 sub-units.

- The “Moquegua D” unit (MoqD) is distinct in that it accumulated after a period of marked erosion. It mostly consists of locally thick conglomerates that infill incised paleovalleys (especially in the eastern region) and/or onlap over erosional paleosurfaces (south and west of Arequipa); it also includes large ignimbrite flows and tuffs. Its base is diachronic, locally as old as ~14 Ma but otherwise ~10 Ma; its top is slightly younger than 4.9 Ma, and estimated to be ~4.5 Ma. Except for pyroclastic deposits, erosion has apparently prevailed everywhere since then.

1. Introducción

En su conjunto, los depósitos cenozoicos de antearco expuestos en el sur del Perú proporcionan una información muy valiosa para reconstruir la evolución de la vertiente pacífica de los Andes Centrales a estas latitudes. Estas acumulaciones esencialmente sedimentarias se distribuyen entre una franja de unos 30–100 km de ancho que corre entre la Cordillera Occidental y la Cordillera de la Costa (Grupo Moquegua), y una delgada faja muy costera al pie de esta última (Grupo Camaná). El presente trabajo sólo concierne al Grupo Moquegua, que se caracteriza por haber sido depositado en ambientes mayormente continentales. Estos depósitos han sido anteriormente estudiados principalmente en forma tradicional, es decir mediante columnas estratigráficas (forzosamente unidimensionales). Debido a la aridez de la región costera del sur del Perú, la tecnología proporcionada por Google Earth permite ahora seguir fácilmente unidades entre zonas de afloramiento distintas, y ya no solamente comparar columnas. De esta forma se puede adquirir una visión prácticamente tridimensional del Grupo Moquegua, y asimismo mejorar mucho el entendimiento de su estratigrafía y origen. En este trabajo presentamos una síntesis de los principales avances alcanzados hasta ahora, basándonos en

observaciones estratigráficas y tectónicas bi- y hasta tridimensionales, y en las dataciones obtenidas durante la última década (Roperch et al., 2006; Thouret et al., 2007; Schildgen et al., 2009; Gunnell et al., 2010; Noury, 2014).

2. Reseña de las principales características del Grupo Moquegua

El Grupo Moquegua abarca los depósitos de antearco mayormente continentales que se acumularon entre la Cordillera Occidental y la Cordillera de la Costa del sur del Perú entre el Eoceno inferior (y, localmente, quizás el Paleoceno superior) hasta el Plioceno. Pese a que esta unidad se dividió tradicionalmente en 2 partes (“Moquegua inferior” y “Moquegua superior”; Marocco, 1984; Marocco et al., 1985; Sébrier et al., 1988), es preciso ahora distinguir en realidad 4 unidades (Sempere et al., 2004; Roperch et al., 2006).

La definición de estas unidades se ha basado en un gran número de observaciones de campo, que la tecnología de Google Earth ha podido refinar en forma notable. La Figura 1 abajo ilustra un buen ejemplo de la definición de las unidades A, B, y C del Grupo Moquegua, mientras que la Figura 2 sintetiza la información cronoestratigráfica disponible hasta la fecha.

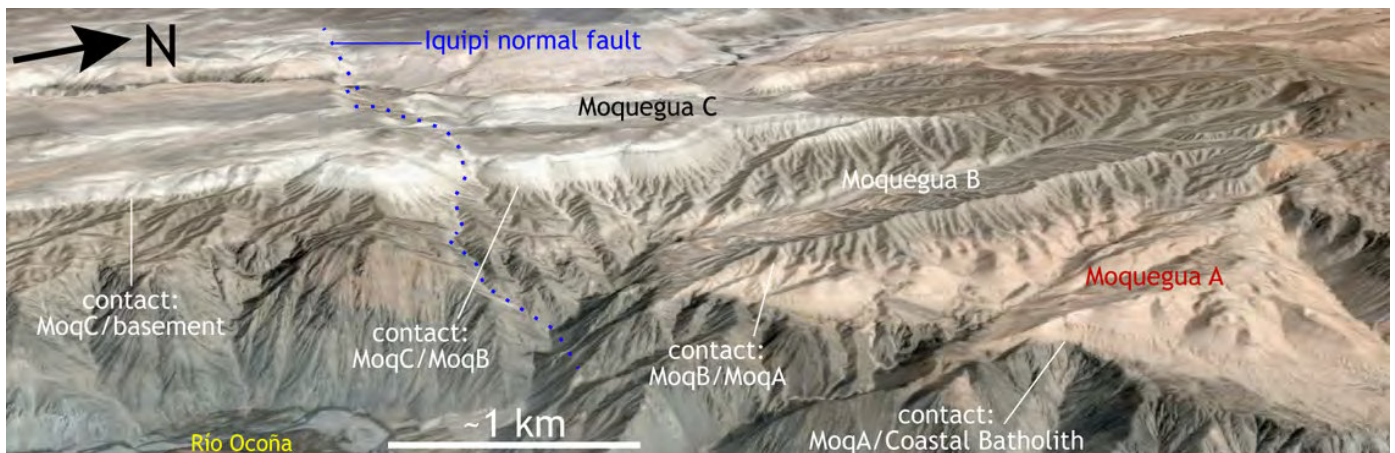


Figura 1. La distinción entre las unidades A, B y C del Grupo Moquegua se aprecia particularmente bien en la zona ubicada al oeste del Río Ocoña a la latitud aproximada del pueblo de IQUIPI, zona que pertenece a la columna “Caravelí-Cunocuno” de la Fig. 2. A la izquierda, el Grupo Moquegua descansa sobre migmatitas proterozoicas al sur de la falla (normal) de IQUIPI, y sobre granitoides del Batolito Costero al norte. A la derecha, la unidad “Moquegua A” consiste de pelitas, limolitas y areniscas rojizas, localmente con yeso, y sólo existe al norte; básicamente representa depósitos aluviales algo distales. La unidad “Moquegua B” sobreyace a la anterior con una discontinuidad levemente erosiva, incluyendo en su base un nivel de tufita datado en ~45 Ma (Roperch et al., 2006); en fuerte contraste con el Moquegua A, consiste mayormente de conglomerados gruesos con clastos redondeados de origen variado, depositados en un ambiente fluvial netamente proximal; se la conoce también solamente al norte de la falla de IQUIPI. Aquí la unidad “Moquegua C” sobreyace a la anterior con una discontinuidad de tipo hiato, pero, al sur de la falla, descansa directamente sobre el basamento neoproterozoico; en fuerte contraste con el Moquegua B, consiste de depósitos clásticos muy tobáceos (de ahí su color dominante blanquecino), que van de conglomerados a pelitas e incluyen niveles con fósiles indudablemente marinos (Huamán, 1985; Noble et al., 1985); su parte superior incluye niveles piroclásticos datados (ver Fig. 2). Vista oblicua (panorama) obtenida por Google Earth.

2.1. Moquegua “A”

En forma más general, el “Moquegua A” (MoqA) consiste principalmente de estratos areno-pelíticos siempre rojizos, que comunmente incluyen yeso (especialmente en Sotillo) y otras evaporitas. Es frecuente observar fallas normales sinsedimentarias (selladas) en este unidad (Sempere et al., 2004). En la zona este, su base descansa

sobre el Grupo Toquepala con una discordancia a menudo angular, mientras que en la zona oeste sobreyace a rocas más antiguas y/o más profundas, como el Batolito Costero o el Jurásico. Se infiere que esta base es diacrónica, probablemente ~50-55 Ma; el tope del MoqA está datado en 44.5 ± 0.4 Ma (Roperch et al., 2006; Fig. 2).

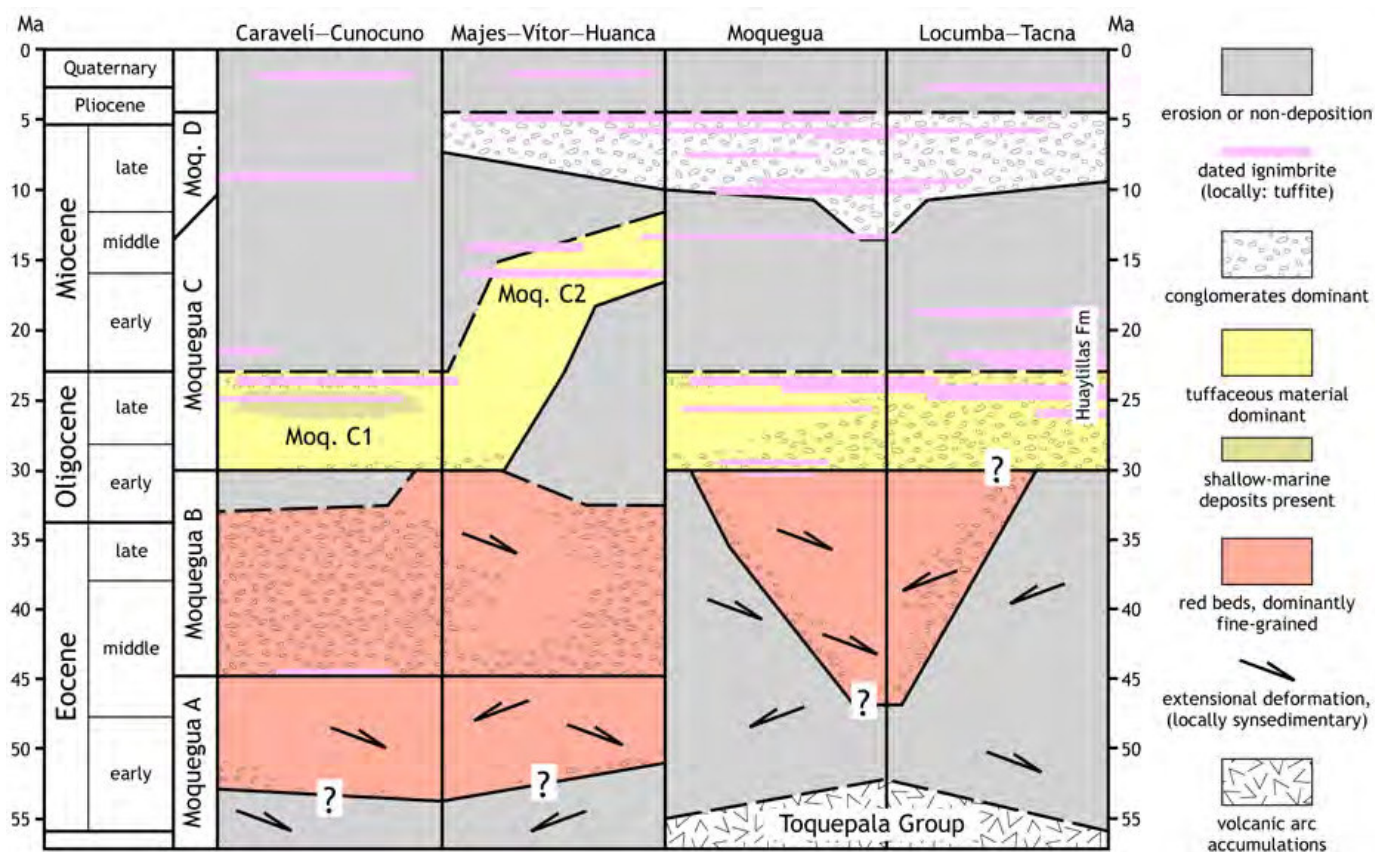


Figura 2. Cronoestratigrafía actualizada del Grupo Moquegua en el sur del Perú, basada en datos lito- y cronoestratigráficos obtenidos entre Caravelí y Tacna. Consultar la bibliografía para el detalle de las ignimbritas, tobas y tufitas datadas. Este diagrama sinóptico bidimensional intenta abarcar datos tridimensionales múltiples, en forma necesariamente imperfecta.



Figura 3. Ejemplo típico de deformación extensional sinsedimentaria, con fallas normales selladas, en estratos areno-pelíticos de la unidad Moquegua B. Carretera Panamericana, ~2.4 km al suroeste del puente sobre el río Vitor, y ~45 km al OSO de la ciudad de Arequipa; coordenadas: lat. 16.473973°S, long. 71.948831°W.

2.2. Moquegua "B"

La litología del "Moquegua B" (MoqB) es bastante variable, porque depende de la posición que tenía la zona de observación en la respectiva sub-cuenca. Los conglomerados gruesos de origen fluvial que dominan en áreas como las de Caravelí, Aplao, y Huanca pasan lateralmente a capas rojas areno-pelíticas que fueron depositadas en ambientes aluviales aparentemente endorreicos (Corire, Vitor, área de Moquegua), e incluyen localmente yeso y/o areniscas eólicas (al sur de Moquegua). La base y el tope del MoqB están respectivamente datados en ~45 Ma en Caravelí y en 30 Ma al sur de Moquegua (localidades ubicadas en sub-cuencas distintas).

2.3. Características del conjunto Moquegua "A+B"

Tanto el "Moquegua A" como el "Moquegua B" presentan comúnmente estructuras extensionales sinsedimentarias (Sempere et al., 2004; Fig. 3). Ambas unidades muestran un color dominante rojizo, por lo que incluyen muy poco material piroclástico. Por estas características comunes y el hecho que se depositaron en las mismas sub-cuencas, localmente sin discontinuidad aparente, forman un conjunto al cual se puede referir como "subgrupo Moquegua inferior" (MoqA+B). Dado que estas acumulaciones ocurrieron en asociación con fallamiento normal, es probable que fueron controladas por el colapso extensional del arco Toquepala, el cual había sido activo en la misma área entre ~90 y ~55 Ma (Sempere et al., 2004).

2.4. Moquegua "C"

En contraste, el "Moquegua C" (MoqC) consiste de estratos predominantemente tobáceos y volcánoclasticos, donde se intercalan depósitos lacustres, niveles piroclásticos, y grandes flujos ignimbríticos. Esta unidad se acumuló sobre un área más extensa que el MoqA+B. Su base está datada en 30 Ma en la zona de Moquegua. En la zona de Caravelí-Cunucuno existen estratos claramente marinos, que han sido datados en ~25 Ma por su asociación con depósitos piroclásticos (Noble et al., 1985). El tope del MoqC es aproximadamente ~23 Ma a lo largo de la región costera, pero es marcadamente más joven y diacrónico (hasta <13 Ma ?) a lo largo de la actual Cordillera Occidental y en paleovalles vecinos, lo que sugiere distinguir dos sub-unidades, MoqC1 y MoqC2.

2.5. Moquegua "D"

El "Moquegua D" (MoqD) es distinto por el hecho que se acumuló después de un período de marcada erosión. Consiste principalmente de conglomerados que rellenan paleovalles incisados (especialmente en la zona este) y/o traslapan sobre paleosuperficies erosivas (al sur y oeste de Arequipa). También incluye grandes flujos ignimbríticos y tobas. Su base es diacrónica, localmente tan vieja como ~14 Ma pero generalmente ~10 Ma. Su tope es un poco más joven que un flujo ignimbrítico datado en 4.9 Ma, y por lo tanto se lo estima en ~4.5 Ma.

Exceptuando los depósitos piroclásticos, aparentemente la erosión ha dominado en todas partes desde entonces.

3. Conclusiones

El Grupo Moquegua abarca un intervalo de tiempo largo, cuya duración está comprendida entre 45 y 50 My. Las unidades que lo conforman se acumularon en contextos geodinámicos bastante distintos.

El conjunto "MoqA+B" se depositó entre ~55-50 y 30 Ma en un contexto eminentemente extensional, relacionado con el colapso gravitacional del arco Toquepala. La migración del arco hacia el norte entre ~50 y ~45 Ma hizo que la cuenca Moquegua se ubicara dentro del antearco del sur del Perú a partir de esa época.

La unidad "MoqC" se depositó durante la retromigración del arco hacia la fosa, la cual coincidió con su gran productividad magmática y su consecuente crecimiento. La acumulación del "MoqC" se inició a los 30 Ma en el suroeste, pero aparentemente recién alrededor de ~17 Ma al noroeste de la ciudad de Arequipa; terminó en la faja costera por los 23 Ma, pero después de los ~16 Ma en el valle de Majes, y por los ~12(?) Ma más al noreste. Por lo tanto, las dataciones disponibles sugieren que la depositación del "MoqC" fue marcadamente diacrónica (Fig. 2), lo que probablemente refleja el hecho que se desarrolló durante el período de retromigración y crecimiento del arco magmático, fenómenos que indudablemente generaron deformaciones corticales importantes.

En fuerte contraste con lo anterior, la unidad "MoqD" se depositó, a partir de ~10 Ma y hasta ~4.5 Ma, sobre una extensa superficie de erosión, en muchos casos a manera de relleno de valles incisos. La superficie de erosión basal refleja una primera incisión, provocada por el levantamiento regional que fue causado por el creciente engrosamiento cortical coetáneo (Mamani et al., 2010), cuyos efectos resultaron en particular en el abandono de la sedimentación a lo largo de la faja costera alrededor de los ~23 Ma. El relleno de los valles incisos durante esta primera etapa de levantamiento refleja, al contrario, una subida relativa del nivel regional de base, que no se puede interpretar por una subida coetánea del nivel marino por su amplitud y su cronología; por lo tanto debe reflejar una subsidencia regional de la corteza del antearco, es decir un adelgazamiento relativo de ella, entre ~10 y ~4.5 Ma.

A partir de esta última fecha, los depósitos del "MoqD" han sufrido una incisión que ha resultado en la formación de los valles actuales, reflejando una segunda etapa de levantamiento y engrosamiento cortical, que muy probablemente se encuentra todavía en curso.

Referencias

- Decou, A., von Eynatten, H., Mamani, M., Sempere, T., Wörner, G. 2011. Cenozoic forearc basin sediments in Southern Peru (15–18°S): Stratigraphic and heavy mineral constraints for Eocene to Miocene evolution of the Central Andes. *Sedimentary Geology*, v. 237, p. 55–72.
- Gunnell, Y., Thouret, J.-C., Bricchau, S., Carter, A., Gallagher, K. 2010. Low-temperature thermochronology in the Peruvian Central Andes: Implications for long-term continental denudation, timing of plateau uplift, canyon incision and lithosphere dynamics. *Journal of the Geological Society, London*, v. 167, p. 803–815.
- Huamán, D. 1985. Evolution tectonique cénozoïque et néotectonique du piémont pacifique dans la région d'Arequipa (Andes du Sud-Pérou). Thèse de doctorat de 3e cycle, Université de Paris-Sud (Orsay), 220 p.
- Marocco, R., 1984. Dynamique du remplissage d'un bassin intramontagneux cénozoïque andin: le bassin Moquegua (sud du Pérou). *Cahiers ORSTOM, Paris, série Géologie*, v. 14, p. 117–140.
- Marocco, R., Delfaud, J., Lavenu, A. 1985. Ambiente deposicional de una cuenca continental intramontaña andina: el Grupo Moquegua (sur del Perú); primeros resultados. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 75, p. 73–90.
- Martínez, W., Cervantes, J. 2003. Rocas ígneas en el sur del Perú: Nuevos datos geocronométricos, geoquímicos y estructurales entre los paralelos 16° y 18°30'S. *Boletín del INGEMMET, serie D*, v. 26, 140 p.
- Noble, D.C., Sébrier, M., Mégard, F., McKee, E.H. 1985. Demonstration of two pulses of Paleogene deformation in the Andes of Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 73, p. 345–349.
- Noury, M. 2014. Evolution géologique de l'avant-arc sud-péruvien : apports des données géo-thermochronologiques. Thèse de doctorat, universités de Grenoble et de Savoie, 341 p.
- Paquereau-Lebti, P., Thouret, J.-C., Wörner, G., Fornari, M. 2006. Neogene and Quaternary ignimbrites in the area of Arequipa, southern Peru: Stratigraphical and petrological correlations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 154, p. 251–275.
- Roperch, P., Sempere, T., Macedo, O., Arriagada, C., Fornari, F., Tapia, C., García, M., Laj, C. 2006. Counterclockwise rotation of late Eocene-Oligocene fore-arc deposits in southern Peru and its significance for oroclinal bending in the central Andes: Tectonics, v. 25: TC3010, doi:10.1029/2005TC001882.
- Schildgen, T.F., Hodges, K.V., Whipple, K.X., Pringle, M.S., van Soest, M., Cornell, K. 2009. Late Cenozoic structural and tectonic development of the western margin of the central Andean Plateau in southwest Peru. *Tectonics*, v. 28: TC4007, doi:10.1029/2008TC002403.
- Sébrier, M., Lavenu, A., Fornari, M., Soulas, J.-P. 1988. Tectonics and uplift in the Central Andes (Peru, Bolivia and northern Chile) from Eocene to Present. *Géodynamique*, v. 3, p. 85–106.
- Sempere, T., Jacay, J. 2007. Synorogenic extensional tectonics in the forearc, arc and southwest Altiplano of southern Peru. *Eos Transactions AGU*, v. 88 (23), Joint Assembly Supplement, Abstract U51B-04.
- Sempere, T., Jacay, J., Fornari, M., Roperch, P. 2002. Megasecuencias sedimentarias en la parte inferior del Grupo Moquegua (área de Aplao, departamento de Arequipa). XI Congreso Peruano de Geología, Lima.
- Sempere, T., Fornari, M., Acosta, J., Flores, A., Jacay, J., Peña, D., Roperch, P., Taípe, E. 2004. Estratigrafía, geocronología, paleogeografía y paleotectónica de los depósitos de antearco del sur del Perú. Extended abstract, XII Congreso Peruano de Geología, Lima, p. 533–536.
- Thouret, J.-C., Wörner, G., Gunnell, Y., Singer, B., Zhang, X., Souriot, T. 2007. Geochronologic and stratigraphic constraints on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 263, p. 151–166.