



## La cuenca pensilvaniana-permiana de Atico–Ocoña (sur del Perú)

Esteban Taipe<sup>1</sup>, Javier Jacay<sup>1</sup>, Juan Quintana<sup>1</sup>, Benita Giles<sup>1</sup>, y Thierry Sempere<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

<sup>2</sup> IRD e ISTerre, Université Savoie–Mont Blanc, 73376 Le Bourget-du-Lac, Francia ([thierry3@icloud.com](mailto:thierry3@icloud.com))

### ABSTRACT

The Pennsylvanian-Permian sub-basins of Atico and Ocoña (southern coast of Peru) represent remnants of a larger basin that formed through pervasive extension of the Precambrian basement. These sub-basins were filled mainly by alluvial deposits including conglomerates, sandstones, siltstones and

mudstones. A few marine carbonate beds occur in the lower part of the Atico section. These sedimentary infills were deposited over active detachments, making that the corresponding basin resembles the Hornelen Basin of Norway in its tectonic framework and characteristics.

### 1. Introducción: problemática y objetivos del estudio

La existencia de cuencas sedimentarias continentales controladas por zonas de cizallamiento dúctil con bajo buzamiento es una de las características de las zonas de extensión continental (Chauvet, 1989). A lo largo de la región costera del sur del Perú, las unidades sedimentarias continentales del Paleozoico superior afloran desde Tacna (18°S, frontera con Chile) hasta Paracas (14°S). Cerca de Atico y Ocoña (Fig. 1), depósitos pensilvanianos y permianos pertenecientes al Grupo Yamayo (Sempere et al., 2014), reposan en contacto anormal, de tipo *détachement*, sobre el zócalo precámbrico migmatítico (Taipe, 2004).

Las sub-cuencas pensilvanianas-permianas de Atico y Ocoña se sitúan en la región costera del sur del Perú, entre las coordenadas 16°10' y 16°25' de longitud Oeste, y 73°37' y 73°08' de latitud Sur (Fig. 1). Ellas son separadas por una distancia de 50 km y se caracterizan por un relleno clástico continental así como por una deformación de su zócalo metamórfico debido al funcionamiento del *détachement* en mención. La cuenca estudiada se sitúa en el interior del Bloque Camaná-Mollendo (BCM), el cual consiste esencialmente de migmatitas precambrianas con intrusiones ordovícicas (Caldas, 1978; Shackleton et al., 1979; Martignole y Martelat, 2003; Loewy et al., 2004).

### 2. Los depósitos sintectónicos pensilvanianos-permianos de Atico y Ocoña

En el área de estudio, los afloramientos del Pensilvaniano-Permiano pertenecen al Grupo Yamayo y se presentan en dos bandas prácticamente paralelas a la costa. La banda de Atico aflora sobre más de 56 km de largo y unos 6 km de ancho, menos de 10 km al NO de la costa. La banda de Ocoña se sitúa más cerca de la última y tiene una extensión menor. El relleno de cada sub-cuenca está en contacto con el zócalo a través de un *détachement* principal, cuyas trazas en el mapa son generalmente orientadas ONO-ESE (Fig. 1).

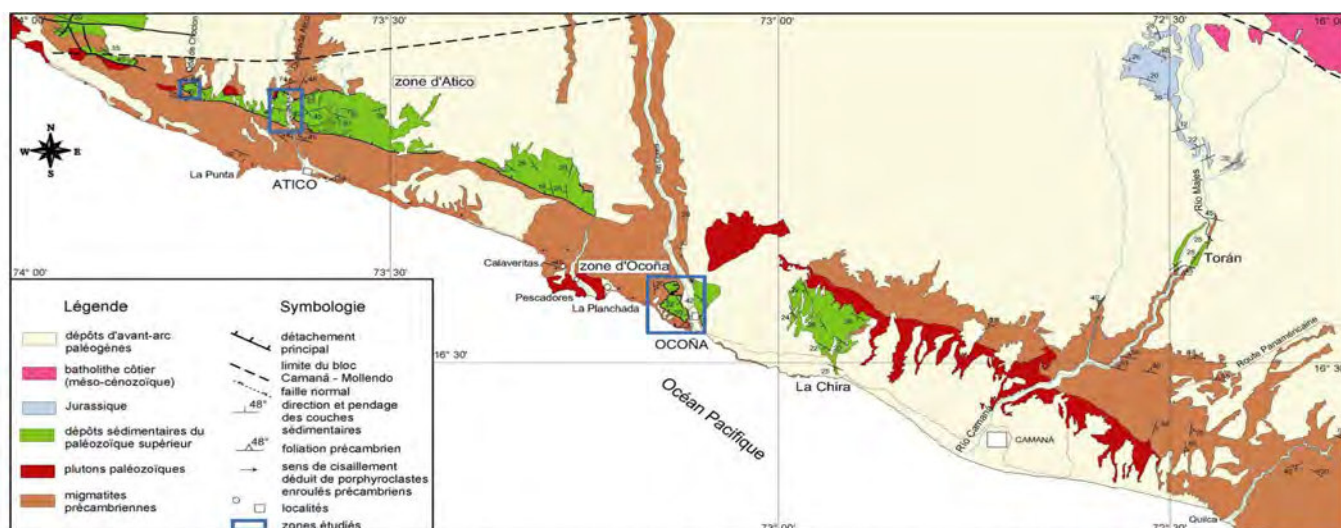
#### 2.1. Zona de Atico

La serie pensilvaniana-permiana de esta zona se compone principalmente de conglomerados, areniscas, y pelitas. La Formación Atico está constituida por un conjunto granocreciente de 2100 m de espesor aparente. En el valle de Atico, pelitas y areniscas finas dominan la parte basal de la Formación Atico, gradando a areniscas hacia la parte media, y a conglomerados en la parte superior. Los clastos corresponden a cantos rodados de rocas del Precámbrico (migmatitas, gneises), granitos rojos, rocas volcánicas alteradas, y calizas de origen indeterminado.

La Formación Atico aflora a lo largo de la carretera Atico-Caravelí, en particular entre los kilómetros 9 y 14. Las primeras descripciones corresponden a Bellido y Narváez (1960), quienes la describieron mediante la adopción de nombres definidos en el centro del Perú, como “Formación Tarma” por su parte basal (es decir, parte septentrional) que consiste principalmente de sedimentos finos y calizas, y “Formación Mitu” por su parte principal, que consta de areniscas y conglomerados marrones rojizos, lo que suponía correlaciones de muy larga distancia. Esta serie posteriormente fue mencionada por Rüegg (1968) y Morales (1997).

En la zona norte de Atico, la parte inferior de la serie se compone principalmente de alternancias de lutitas y limolitas de color rojo y verdoso. Los conglomerados están presentes localmente, con clastos de litologías variadas, observándose cuarcitas, rocas volcánicas, granitos, y migmatitas. Los conglomerados son seguidos por areniscas verdosas, de grano fino a grueso, en capas masivas o laminadas, con estratificación oblicua y rizaduras de corriente; se observa algunas veces clastos

angulosos de caliza de varios centímetros de diámetro. Los bancos de limos son masivos o finamente laminados, de color marrón oscuro a rojizo, alternando con areniscas y conglomerados. Las intercalaciones de pelitas son a su vez ricas en materia orgánica, lo que les da un color oscuro característico, y se observan comúnmente restos vegetales (hojas y tallos fragmentados) indeterminables. En esta zona, las mediciones de paleocorrientes (rizaduras, imbricaciones de cantos rodados, ejes de los paleocanales) indican que el transporte de sedimentos se realizó principalmente hacia el cuadrante Sur (SO a SE). Los horizontes estratiformes de bloques calcáreos disjuntos, de color gris, decamétricos en dimensión horizontal, se observan al norte de Atico, y parecen corresponder a niveles fragmentados tectónicamente, siendo testigo de una extensión penecontemporánea de la sedimentación. Estas calizas contienen una fauna marina de corales, fusulínidos (del género *Triticites*; Pensilvaniano a Permiano inferior), y bivalvos (Bellido y Narváez, 1960).



**Figura 1.** Localización de los depósitos sedimentarios del Paleozoico superior de Atico y Ocoña. Mapa establecido a partir de las hojas geológicas de Atico, Ocoña, La Yesera, Aplao, Camaná, y Mollendo (INGEMMET), con correcciones y modificaciones.

En la quebrada de Choclón, al oeste de la zona de Atico, se observan igualmente facies finas rojizas de lutitas, limolitas, y areniscas, en general estratificadas groseramente. Los bancos tienen espesores de 0,5 a 1 m, siendo similares a los observados en la parte norte de Atico, y forman horizontes estratiformes apenas fragmentados, plurimétricos en dimensión horizontal. En la Formación Atico se observa localmente angularidades en la estratificación general, que traducen igualmente una tectónica sinsedimentaria en extensión (quebrada Atico; quebrada de Choclón); es lo más comúnmente visto a lo largo del borde norte de la sub-cuenca.

La masa principal de conglomerados aflora al sur de la zona de Atico, por encima y cerca del *détachement principal*, sobre un ancho de varios cientos de metros, en donde se observa “discordancias progresivas”, es decir estratos de crecimiento (*growth strata*). Estos conglomerados generalmente de color marrón rojizo se presentan en bancos masivos de 1 a 3 m de espesor. Sus

clastos flotan en una matriz microconglomerádica marrón rojizo y verde, y son de gneis gris-verdoso, cuarzo blanco, granitos rosados, rocas volcánicas, y caliza gris.

Mediciones de paleocorrientes (imbricación de clastos, marcas de corriente en areniscas) sugieren que hubo dos regiones fuentes de sedimentación, respectivamente al norte y al sur de la sub-cuenca:

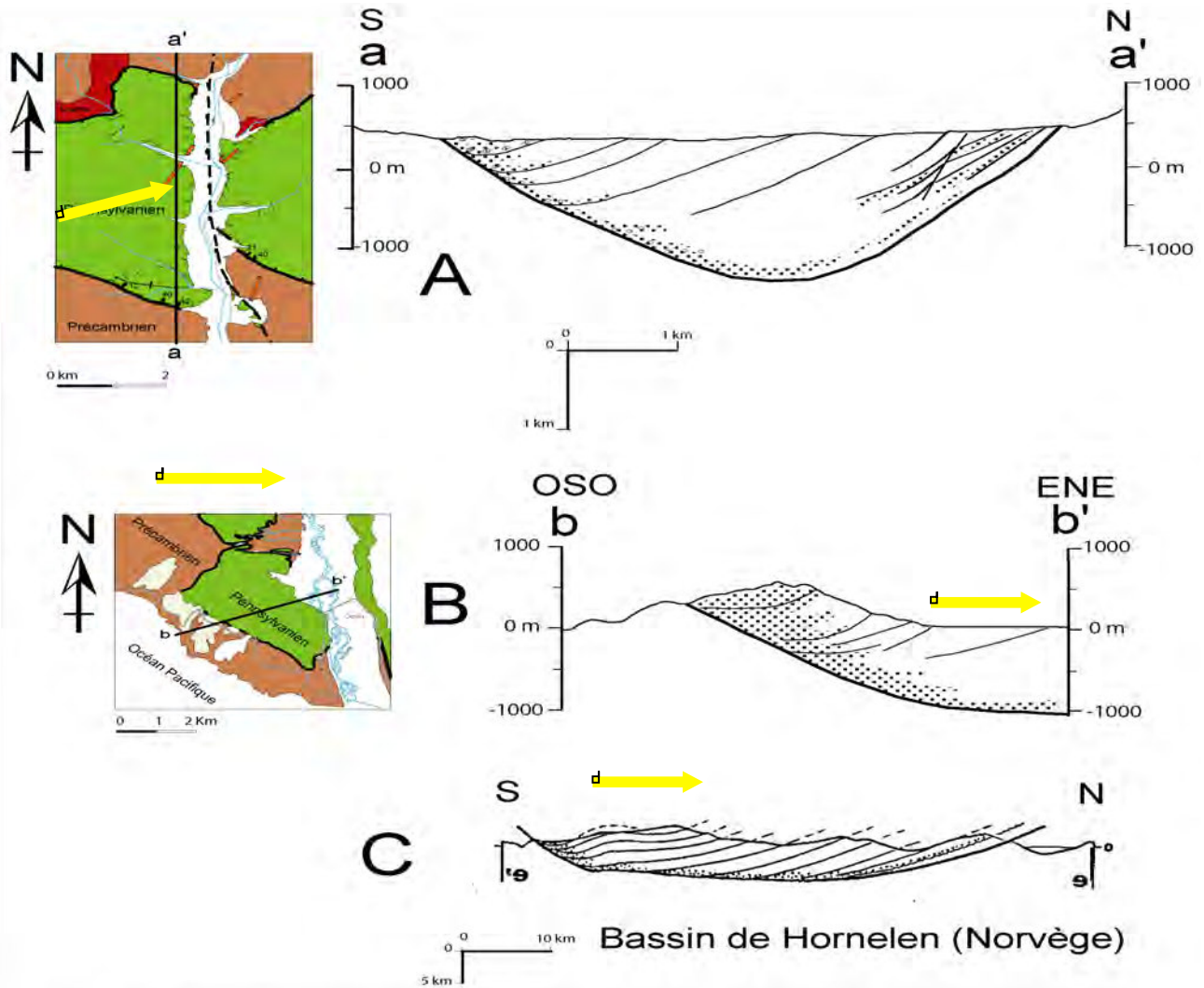
- En la zona norte de Atico, las direcciones de paleocorrientes se dirigen hacia el SE y el SO, mientras que los ejes de los canales están orientados N-S.
- En la zona sur, cerca del *détachement principal*, las direcciones de paleocorrientes se orientan principalmente hacia el NNO, con cierto grado de solapamiento de clastos hacia el NO.

La presencia de clastos volcánicos en los conglomerados situados al sur y norte de la sub-cuenca implica que rocas volcánicas (de edad desconocida) se encontraban aflorando en la región de Atico en el Pensilvaniano, al NE y SO de la sub-cuenca. Sin embargo, la forma

subredondeada a redondeada de estos clastos sugiere que éstos sufrieron un transporte significativo antes de la sedimentación definitiva en Atico. La aparente ausencia de rocas volcánicas interestratificadas en el relleno de la sub-cuenca implica sea que ningún arco estaba activo en esta época, sea que, si es que había un arco activo, entonces estaba lejos de la zona. Sin embargo, se observa una roca volcánica dacítica, de edad todavía desconocida, intruida en el mismo *détachement* aflorando a lo largo del borde norte de la sub-cuenca. En la ausencia de resultados geocronológicos sobre estas rocas volcánicas (en clastos o intrusiones), se especula que pueden corresponder a clastos que reflejen la erosión de lo que quedaba en el

Pensilvaniano de las acumulaciones volcánicas del arco construido en el BCM en el Ordovícico, y/o a un magmatismo coetáneo, por lo menos parcialmente, de la extensión responsable de la formación de la cuenca.

La existencia de niveles calcáreos delgados con fauna marina en la parte inferior de la serie indica que esta parte de la sub-cuenca fue esporádicamente invadida por el mar, cerca del comienzo de su evolución. La presencia de clastos de caliza de litología similar en los conglomerados visibles a lo largo de los bordes NE y SO de la sub-cuenca sugiere que estos niveles calcáreos estuvieron parcialmente sometidos a la erosión durante el funcionamiento de la cuenca.



**Figura 2.** Cortes esquemáticos a través de las sub-cuenclas de Atico (A) y Ocoña (B), y la cuenca de Hornelen (C). Se observa similitudes entre las estructuras y reparticiones de facies.

**2.2. Zona de Ocoña**

La sucesión expuesta en las proximidades de Ocoña (en ambas orillas del río Ocoña, en el Cerro Quichín y Pumacoto) tiene un espesor mínimo de 1100 m. La sección tipo está situada en la orilla oeste del Río Ocoña. El estudio inicial de esta unidad se debe a Mendívil y Castillo (1960), quienes la describieron como Formación Ambo, asignándole implícitamente una edad misisipiana. Sin embargo, Morales (1997) señaló la determinación, por parte de H. Pfefferkorn, de una flora pensilvaniana

descubierta en esta unidad.

La sucesión de Ocoña incluye conglomerados, areniscas microconglomerádicas, areniscas arcósicas, limolitas, y lutitas, y localmente algunas capas de yeso y caliza. Hacia el oeste del río, las facies conglomerádicas pasan de unos pocos cientos de metros a facies de areniscas arcillosas de color marrón rojizo, donde se observa algunas capas de calizas azuladas a negras intercaladas entre las pelitas. Hacia la margen este del Río Ocoña, las facies son

netamente más finas: se observa limos, pelitas, y calizas. Existe pues una marcada polaridad en la distribución de facies sedimentarias: la sub-cuenca se profundizaba rápidamente hacia el este, tal como lo confirman las paleocorrientes medidas en conglomerados y areniscas.

Los conglomerados se encuentran principalmente en la parte suroeste de la sub-cuenca donde están adosados a una falla normal que se conecta al *détachement* principal (Fig. 2). Presentan un aspecto monótono y masivo: se trata de depósitos de conos aluviales, con elementos flotantes (*debris-flows*), en los cuales se observan unidades elementales con granoclasificación normal. La litología de los clastos es variada: gneis verde-gris a negro, granitoides blancos y a veces rosados, cuarzo lechoso. Sus colores evolucionan desde rojo, cerca de la falla que bordea la sub-cuenca al sur, hacia tonos rosados hacia la elongación norte. El diámetro de los clastos, que son generalmente redondeados a sub-angulares, varía de unos pocos centímetros hasta 30 cm. La matriz, generalmente compacta, consta de una arenisca heterogénea microconglomerádica. El espesor de las capas varía desde unos pocos metros a aproximadamente 30 m en el caso de depósitos de flujo de escombros. Este tipo de deposición es característico del borde SO de la sub-cuenca de Ocoña. Hacia el NE, estas facies conglomerádicas pasan lateralmente, en una distancia de unos 2 km, a facies de areniscas arcósicas microconglomerádicas localmente laminadas.

### 3. Conclusiones

El estudio de la cuenca de Atico-Ocoña y de los *détachements* asociados conduce a las siguientes conclusiones:

El mapeo pone en evidencia un *détachement* extensional que afectó el zócalo del bloque Camaná-Mollendo (BCM), compuesto de migmatitas de edad grenviliana y granitoides ordovícicos. La cuenca sedimentaria que se ha desarrollado por encima de los *détachements* es de edad pensilvaniana-permiana.

La organización espacial de las facies conglomerádicas muestra que las dos sub-cuencas estudiadas son sintectónicas, lo que demuestra que los *détachements* funcionaron al menos durante el Pensilvaniano-Permiano (Fig. 2). Es probable que las edades aparentes fanerozoicas obtenidas en rocas metamórficas precámbricas de este zócalo corresponden al intervalo de tiempo durante el cual se llevó a cabo la exhumación.

La sub-cuenca de Ocoña se profundizaba hacia el este, es decir en la dirección de la depresión sinsedimentaria creada por el desplazamiento hacia el este del compartimiento superior, lo que demuestra la consistencia de los resultados proporcionados por el análisis de la cuenca, por una parte, y el análisis estructural, por otra parte.

El cizallamiento del zócalo profundo se efectuó en condiciones dúctiles durante la primera etapa de la evolución extensional, pero luego prosiguió en condiciones más someras y por lo tanto frágiles. Esta

evolución produjo la exhumación del zócalo y la formación de la cuenca estudiada.

Tanto la geometría como la arquitectura de la cuenca de Atico-Ocoña y el mapeo de la zona recuerdan claramente a las cuencas devónicas de Noruega (Hornelen, etc.), que también se originaron por extensión marcada de su basamento caledoniano.

### Referencias

- Alemán, A., León, W. 2002. A Carboniferous volcanic arc along coastal Cordillera? 5th International Symposium on Andean Geodynamics, Toulouse, Francia, p. 23-26.
- Bellido, E., Narváez, S. 1960. Geología del Cuadrángulo de Atico. Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional, v. 2, 59 p.
- Caldas, J. 1978. Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí, y Yauca, Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional, v. 30, 78 p.
- Chauvet, A. 1989. Étude pétrostructurale du substratum des bassins dévoniens de l'ouest de la Norvège : Les processus d'amincissement de la croûte calédonienne épaissie. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier II), 212 p.
- Loewy, S.L., Connelly, J.N., Dalziel, I.W.D. 2004. An orphaned basement block: The Arequipa-Antofalla Basement of the central Andean margin of South America. Geological Society of America Bulletin, v. 116, p. 171-187.
- Martignole, J., Martelat, J.-E. 2003. Regional-scale Grenvillian-age UHT metamorphism in the Mollendo-Camana block (basement of the Peruvian Andes). Journal of Metamorphic Geology, v. 21, p. 99-120.
- Mendivil, S., Castillo, W. 1960. Geología del cuadrángulo de Ocoña. Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional, v. 3, 54 p.
- Morales, G. 1997. Nuevos datos geocronológicos y bioestratigráficos del macizo antiguo de Arequipa. Actas, IX Congreso Peruano de Geología, p. 365-369.
- Rüegg, W. 1968. Mil kilómetros de geología en la faja pacífica del Perú meridional: excursión desde Arequipa. Actas de las Terceras Jornadas Geológicas Argentinas, Buenos Aires, tomo I, p. 355-374.
- Shackleton, R.M., Ries, A.C., Coward, M.P., Cobbold, P.R. 1979. Structure, metamorphism and geochronology of the Arequipa Massif of coastal Peru. Journal of the Geological Society (London), v. 136, p. 195-214.
- Taipe, E. 2004. *Détachements en extension et sédimentation : les bassins pennsylvaniens d'Atico et Ocoña (sud-Pérou)*. Mémoire de DEA, Université Paul-Sabatier, Toulouse, Francia, 38 p.
- Sempere, T., Boekhout, F., Noury, M., Taipe, E., Garcia, F., Jacay, J., Spikings, R. A., Schaltegger, U. 2013. Reinstauración del Grupo Yamayo (Bellido y Guevara, 1963) y su significado en la evolución de la margen peruana del Carbonífero al Triásico. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 108, p. 227-231.