

# La glaciación del límite Ordovícico-Silúrico en el Altiplano de Perú: evidencias e implicaciones tectónicas

*Latest Ordovician-Early Silurian glaciation in the Peruvian Altiplano: evidence and tectonic implications*

E. Díaz-Martínez (\*), H. Acosta (\*\*), R. Rodríguez (\*\*), V. Carlotto (\*\*), y J. Cárdenas (\*\*)

(\*) Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), Fac. CC. Geológicas, 28040 Madrid, España (ediaz@eucmax.sim.ucm.es)

(\*\*) Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Avda. de la Cultura s/n, Cusco, Perú (carlotto@chaski.unsaac.edu.pe)

## ABSTRACT

*The Lower Paleozoic stratigraphic sequence cropping out immediately to the north of Ayaviri (Peruvian Altiplano) belongs to the Eastern Cordillera tectonostratigraphic domain, and includes the Sandia, San Gabán and Ananea formations. Glacially-striated and faceted clasts found within the diamictites of the San Gabán Formation provide the first evidence for the late Ashgill-Llandovery glaciation in the Peruvian Altiplano, an area where this unit was previously considered not to be deposited. The marked difference between the Lower Paleozoic sequences of the Altiplano and Eastern Cordillera tectonostratigraphic domains suggests important tectonic shortening along the boundary fault zone.*

**Key words:** Ordovician, Silurian, diamictites, glaciation, tectonism, Peru

*Geogaceta*, 26 (1999), 23-26  
ISSN: 0213683X

## Introducción

Las glaciaciones del Ordovícico superior y Silúrico inferior han sido descritas y tratadas en profundidad en la literatura geológica. Las del Ordovícico superior se encuentran bien documentadas en el norte de África y en Arabia, y las del Silúrico inferior se han descrito para la cuenca del Cabo (Sudáfrica) y las cuencas intracratónicas brasileñas (Grahn & Caputo 1992). En los Andes Centrales se encuentra una unidad de diamictitas cerca del límite Ordovícico-Silúrico, la cual ha sido tradicionalmente utilizada como capa guía dentro de la potente y generalmente monótona serie siliciclástica del Paleozoico inferior (Boucot 1988, Díaz-Martínez 1998). Estas diamictitas generalmente están intercaladas con areniscas y lutitas, y frecuentemente muestran deslizamientos sinsedimentarios (slumps) y capas deformadas. La unidad se conoce como Formación San Gabán en Perú, Formación Cancañiri en Bolivia, y Formación Zapla en el norte de Argentina. La variabilidad lateral de la discontinuidad que limita esta unidad por debajo, y el frecuente carácter reciclado de la mayoría de los fósiles que se encuentran en estos depósitos, han originado discusiones sobre su edad (Suárez-Soruco 1995, y referencias). En Perú, la Formación San Gabán sólo se ha descrito para la parte central y sur de la Cordillera Oriental y Subandino

(Laubacher 1974, Laubacher *et al.* 1982), mientras que hasta el momento no se había encontrado ninguna evidencia de esta unidad en el Altiplano de Perú (Laubacher *et al.* 1982, Boucot 1988, Ellison 1990, Suárez-Soruco, 1992).

El carácter glaciogénico de estos depósitos, y su diacronismo a escala continental, han sido utilizados en reconstrucciones paleogeográficas del Ordovícico y Silúrico como evidencia para el desplazamiento de Gondwana sobre el polo. Sin embargo, las diferentes argumentaciones sobre su edad exacta e interpretación paleoambiental todavía no permiten establecer un modelo integrado de evolución paleogeográfica. Con la intención de contribuir a este modelo, en este trabajo presentamos nuevas evidencias que confirman (a) la presencia de la unidad de diamictitas en el Altiplano de Perú, y (b) su carácter glaciogénico. Al mismo tiempo, proponemos algunas conclusiones sobre las implicaciones tectónicas de la presencia de la Formación San Gabán en el Altiplano, tanto para el marco tectónico en el Paleozoico, como para el esquema tectonoestratigráfico resultante de la deformación andina en el Cenozoico.

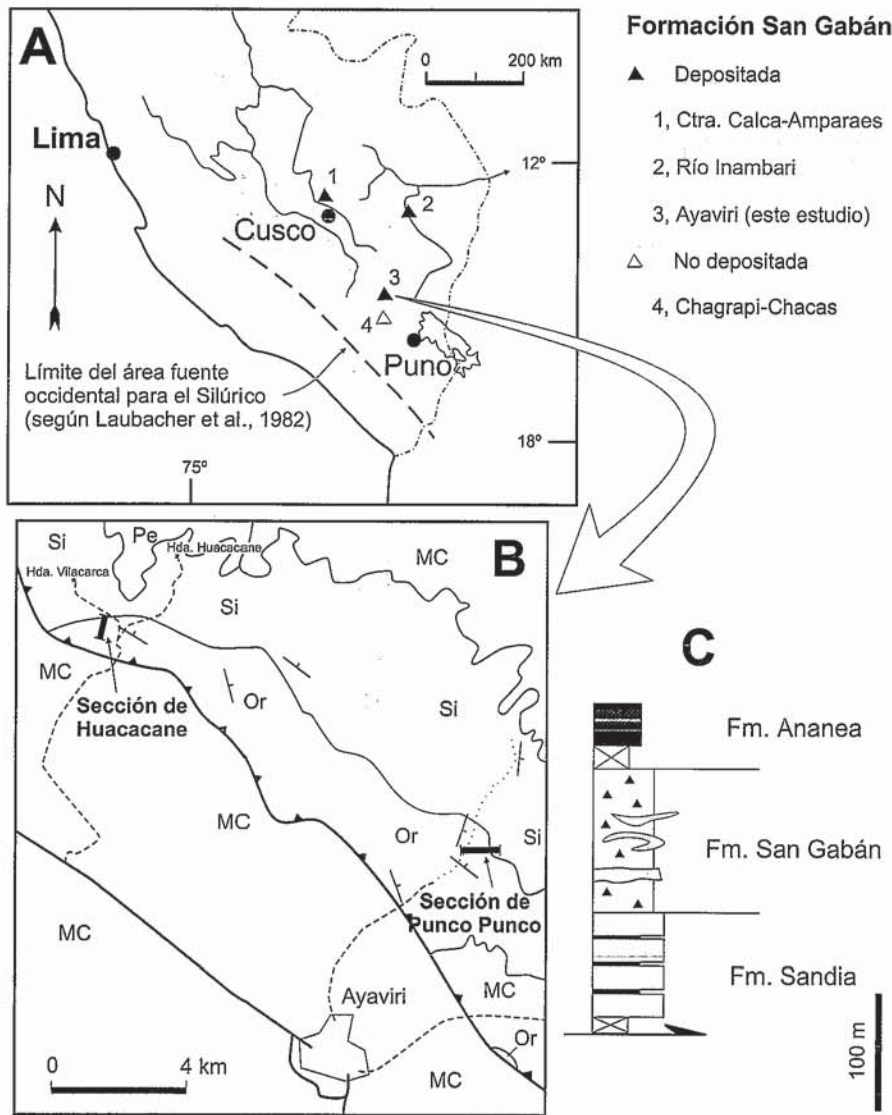
## Estratigrafía y sedimentología

Por primera vez describimos la presencia de la unidad de diamictitas en el Altiplano de Perú, concretamente en dos

secciones estratigráficas situadas cerca del pueblo de Ayaviri (Fig. 1). La sección de Huacacane se sitúa 14 km al NNO de Ayaviri, y presenta buenos afloramientos en ambos lados del estrecho formado por el río Huacacane entre los cerros Sullumara y Allcamarine. La sección de Punco Punco se sitúa 7 km al NNE de Ayaviri, y presenta buenos afloramientos a lo largo de la ladera oriental de la quebrada, cerca del cerro Morojullo. Ambas secciones se encuentran dentro del mismo bloque estructural de rocas paleozoicas que cabalga con vergencia al SO (Fig. 1B). Aunque morfológicamente este bloque tectónico forma parte del Altiplano peruano, nuestra revisión de la estratigrafía del Paleozoico demuestra que la secuencia es muy parecida a la de la Cordillera Oriental, y que por lo tanto debe ser considerada como parte de este otro dominio tectonoestratigráfico, en lugar del del Altiplano. Por esta razón, hemos seguido la nomenclatura litoestratigráfica que se encuentra actualmente en uso para el Ordovícico y Silúrico de la Cordillera Oriental: formaciones Sandia, San Gabán y Ananea (Fig. 1C).

Por encima de las cuarcitas y areniscas con intercalaciones de lutitas correspondientes a la parte superior de la Formación Sandia, hemos encontrado una unidad heterogénea de espesor variable (100-150 m) y compuesta por una alternancia de diamictitas, lutitas y areniscas,





tan ser continuas, indicando por lo tanto la superposición de varios eventos de transporte en masa dentro de un contexto de sedimentación marina «normal».

No se pudo observar el contacto entre las diamictitas de la Formación San Gabán y las lutitas y pizarras de la parte inferior de la Formación Ananea suprayacente. Las tres unidades (formaciones Sandia, San Gabán y Ananea) yacen concordantes entre sí, y están afectadas por un metamorfismo de grado muy bajo y desarrollo de clivaje.

**Discusión**

Esta es la primera vez que se menciona la presencia de la unidad de diamictitas en el Altiplano de Perú. A raíz de este hallazgo, consideramos la posibilidad de que se pudiera encontrar esta unidad también en la sección tipo del límite Ordovícico-Silúrico en el Altiplano peruano (área de Chacas-Chagrapi). Sin embargo, la búsqueda fue totalmente infructuosa, coincidiendo con las observaciones de Laubacher *et al.* (1982), quienes ya habían comprobado su ausencia de esta zona, situada pocos kilómetros al sur de Ayaviri. La estratigrafía del Paleozoico inferior del bloque cabalgante situado al norte de Ayaviri demuestra que el plano de cabalgamiento correspondiente debe considerarse como el límite entre los dominios tectonoestratigráficos del Altiplano y de la Cordillera Oriental, y se sitúa dentro de la región morfo tectónica del Altiplano.

La edad de la Formación San Gabán y sus equivalentes en Bolivia y Argentina todavía está en discusión. Algunos autores asignan una edad Ashgillense tardío (Hirnantense) a todas estas unidades (Peralta & Baldi, 1990), mientras que otros asignan una edad Llandoveryense (Suárez-Soruco, 1995, y referencias), en concordancia con la edad demostrada para estos depósitos en Brasil (Grahn & Caputo, 1992). En Bolivia, esta unidad se interpreta como resultado de varios eventos de resedimentación de gran volumen y que afectaron a una gran extensión, inducidos por la inestabilidad tectónica. Los materiales fueron depositados en un ambiente marino profundo y distal, con alternancia de flujos de lodo, flujos de detrito, capas deslizadas y deformadas, y

Figura 1.- A, principales afloramientos del límite Ordovícico-Silúrico, con indicación de las secciones en las que la Formación San Gabán fue o no fue depositada. B, esquema geológico del área de Ayaviri (según Palacios *et al.*, 1993): Or, Ordovícico; Si, Silúrico; Pe, Pérmico; MC, Mesozoico y Cenozoico. C, esquema estratigráfico simplificado para la sección de Huacacane.

Fig. 1.- A, Main outcrops of the Ordovician-Silurian boundary, indicating those sections where the San Gabán Formation was or was not deposited. B, Geology of the Ayaviri area (after Palacios *et al.*, 1993): Or, Ordovician; Si, Silurian; Pe, Permian; MC, Mesozoic and Cenozoic. C, Simplified stratigraphy of the Huacacane section.

que correlacionamos con la Formación San Gabán (Fig. 1C). Las capas de diamictita se caracterizan por la presencia de frecuentes clastos de tamaño muy variable (milimétrico a decimétrico) y que alcanzan más de 50 cm. Los clastos están compuestos principalmente por cuarzo hidrotermal o rocas siliciclásticas (arenisca, limolita, lutita), y se encuentran incluidos dentro de una matriz limoarcillosa con pocas estructuras sedimentarias evidentes (masivas) y con proporciones variables de arena. Dentro de las diamictitas también se observan capas disconti-

nuas de arenisca deformadas plásticamente, las cuales evidencian el carácter resedimentado del conjunto, como resultado de transporte en masa y por gravedad del sedimento. La presencia dentro de la diamictita de algunos clastos estriados y facetados por acción glaciar indica una influencia glaciogénica en el origen del material resedimentado. Las diamictitas presentan algunas intercalaciones de capas de arenisca y lutita, tanto masivas como laminadas, algunas de las cuales pueden ser grandes bloques deslizados (olistolitos). Otras de estas capas aparen-



turbiditas. También se encuentran clastos estriados y facetados por glaciares. Todo ello evidencia la resedimentación de facies más someras, incluyendo depósitos glaciogénicos procedentes de un área fuente local. La deformación tectónica, y los relieves resultantes del apilamiento tectónico, son respectivamente los que originaron (a) los terremotos que indujeron el transporte en masa, y (b) los glaciares de tipo alpino que aportaron el material a la zona de costa (Díaz-Martínez *et al.*, 1996; Díaz-Martínez, 1997). En el caso de la Formación San Gabán del Altiplano oriental de Perú, parece coherente una interpretación y edad similares.

La presencia de la Formación San Gabán en esta parte del sur de Perú plantea la posibilidad de que también esté presente en otros puntos a lo largo del margen occidental del dominio tectonoestratigráfico de la Cordillera Oriental, y en los que aún no se haya descrito. Tal es el caso de la región de Ananea, en la que Laubacher *et al.* (1982) no llegaron a encontrarla, aunque sugieren que falte en la sección tipo debido a una falla, tal como indican en su figura 4. En cualquier caso, el hallazgo de la Formación San Gabán inmediatamente al norte de Ayaviri demuestra un pronunciado acortamiento tectónico durante la compresión andina a lo largo de la zona de falla entre los dominios tectonoestratigráficos del Altiplano y de la Cordillera Oriental. Este acortamiento originó el acercamiento de dos bloques con diferente tipo de sedimentación para el Ordovícico y Silúrico, y que actualmente se encuentran en relativa proximidad.

Por último, y como consecuencia del nuevo hallazgo, se plantea la necesidad

de revisar la reconstrucción paleogeográfica propuesta por Laubacher *et al.* (1982). Los modelos paleogeográficos que sean planteados en el futuro deberán incluir la presencia de esta unidad en el Altiplano, así como la existencia de un importante acortamiento tectónico entre los dominios tectonoestratigráficos del Altiplano y la Cordillera Oriental, el cual deberá ser considerado en las reconstrucciones palinospásticas.

### Conclusiones

La serie estratigráfica del Paleozoico inferior que aflora inmediatamente al norte de Ayaviri (Altiplano de Perú) pertenece al dominio tectonoestratigráfico de la Cordillera Oriental, e incluye a las formaciones Sandía, San Gabán y Ananea. La presencia de clastos estriados y facetados por glaciares en las diamictitas de la Formación San Gabán aporta por primera vez evidencia de la glaciación del Ashgillense terminal-Llandoveryense en el Altiplano peruano, un área en el que se consideraba que esta unidad no se había depositado. La clara diferencia entre las series del Paleozoico inferior de los dominios tectonoestratigráficos del Altiplano y de la Cordillera Oriental indica que a lo largo de la zona de falla que los limita ha tenido lugar un importante acortamiento tectónico.

### Agradecimientos

Esta contribución resulta de un Proyecto Conjunto de Investigación financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional dentro del Programa de Cooperación Científica con Iberoamérica, y de un Convenio de Cooperación

entre la Universidad de San Antonio Abad del Cusco y el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD).

### Referencias

- Boucot, A.J. (1988): *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Geol.)*, 43: 285-290.
- Díaz-Martínez, E. (1997): *Geogaceta*, 22: 55-57.
- Díaz-Martínez, E. (1998): *Temas Geológico-Mineros ITGE*, 23: 69-75.
- Díaz-Martínez, E., Limachi, R., Goitia, V.H., Sarmiento, D., Arispe, O. y Montecinos, R. (1996): *3rd Int. Symp. Andean Geodynamics*, St.-Malo. *Expanded abstracts*, 343-346.
- Ellison, R.A. (1990): *British Geological Survey, Overseas Geology and Mineral Resources*, 65, 39 p.
- Grahn, Y. y Caputo, M.V. (1992): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99: 9-15.
- Laubacher, G. (1974): *Cahiers d'ORSTOM, série Géologique*, 6(1): 29-40.
- Laubacher, G., Boucot, A.J. y Gray, J. (1982): *Journal of Paleontology*, 56(5): 1138-1170.
- Palacios, O., De La Cruz, J., De La Cruz, N., Klinck, B.A., Allison, R.A. y Hawkins, M.P. (1993): *INGEMMET, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, Boletín no. 42, 257 p.
- Peralta, S.H. y Baldis, B.A.J. (1990): *4ª Reunión Argentina de Sedimentología*, 3: 169-176.
- Suárez-Soruco, R. (1992): En: J.C. Gutiérrez-Marco, J. Saavedra e I. Rábano (eds.), *Paleozoico Inferior de Ibero-América*, Univ. de Extremadura, 225-239.
- Suárez-Soruco, R. (1995): *Revista Técnica de YPF*, 16: 51-54.

Contribution to IGCP project 421 «North Gondwana mid-Paleozoic terranes and biota»