

PROBLEMÁTICA DE LA FORMACIÓN SANDIA (ORDOVÍCICO) EN LA CORDILLERA ORIENTAL PERUANA: ¿UNA O VARIAS UNIDADES DE DISTINTA EDAD?

Juan Carlos Gutiérrez-Marco¹, Víctor Carlotto², Robert Monge³, César Chacaltana² y José Cárdenas⁴

¹ Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), José Antonio Novais 2, 28040 Madrid, España. jcgrapto@geo.ucm.es

² INGEMMET, Av. Canadá 1470, Lima, Perú. vcarlotto@ingemmet.gob.pe; cchacaltana@ingemmet.gob.pe

³ Volcan Cia. Minera, Unidad Vinchos, Av. Gregorio Escobedo 710, Jesús María, Lima, Perú. rmonge@volcan.com.pe

⁴ Departamento de Geología, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Av. de la Cultura 733, Cuzco, Perú. cardenasroque@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La Formación Sandia (Laubacher, 1974), considerada cronoestratigráficamente como del Ordovícico Superior, designa una sucesión con predominio arenoso y cuarcítico que aflora extensamente en todo el ámbito geológico de la Cordillera Oriental del sureste peruano. Su espesor varía entre 500 a más de 1000 m. Se halla encuadrada en su base por las lutitas fosilíferas del Ordovícico Inferior, Medio y Superior *p.p.* (Formación San José) y, en su techo, por los materiales silúrico-devónicos (Formación Ananea), o bien por una sucesión de diamictitas y cuarcitas (la Formación San Gabán), equivalente lateral de las formaciones Cancañiri y Zapla de sectores más meridionales de la Cuenca Andina Central. Desde el punto de vista sedimentológico, la Formación Sandia se corresponde con depósitos de plataforma somera (≤ 100 m), sometida a tormentas, en un contexto tectonosedimentario regresivo (Reimann *et al.*, 2006; Spiske *et al.*, 2006), si bien con anterioridad había sido interpretada como propia de ambientes que evolucionaron desde costeros (*shoreface*) hasta flyschoides y turbidíticos (Martínez, 1998; Martínez y Monge, 2000).

En la presente nota examinamos las características de la Formación Sandia en las distintas regiones donde ha sido descrita y cartografiada hasta el momento, con el propósito de discutir su correlación y analizar si se trata de una sola unidad, o de varias con características y edades diferentes.

AFLORAMIENTOS EN LA CORDILLERA DE CARABAYA

Corresponde al área tipo de la Formación Sandia (Laubacher, 1974), donde se concentran la gran mayoría de los estudios cartográficos y regionales sobre la unidad (Laubacher, 1977; De la Cruz y Carpio Ronquillo, 1996; Palacios *et al.*, 1996; Monge y Zedano, 1996; Carlotto *et al.*, 1996, 1999; Monge *et al.*, 1997; Cárdenas *et al.*, 1997; Martínez, 1998; Martínez y Monge, 2000; Reimann *et al.*, 2006; Spiske *et al.*, 2006). Aunque muchos trabajos modernos asignan la Formación Sandia al rango *Llandeiliano* (“superior”)-*Caradociano* (por ejemplo Martínez, 2008) o alternativamente al *Caradoc* “basal”-*Ashgill* “inferior” (Bahlburg *et al.*, 2006; Díaz-Martínez y Grahn, 2007), desde Laubacher (1974) quedó claro que el límite Ordovícico Medio/Superior se localiza dentro de la unidad infrayacente. Esto fue confirmado por Gutiérrez-Marco *et al.* (2004) y permite resituar, en niveles previos a la Formación Sandia, la gran mayoría de los yacimientos históricos de graptolitos peruanos, de edad Sandbiano -ex “Caradociano inferior”- (Bulman, 1931; Laubacher, 1974; Brussa *et al.*, 2007). Asimismo, hay que resaltar que el yacimiento original del braquiópodo “*Nanorthis cf. grandis* (Harrington)”, comúnmente citado en la Formación Sandia como indicativo del *Caradociano* (la especie nominal es Ordovícico Inferior), se sitúa en realidad en la Formación San José (De la Cruz y Carpio, 1996), siendo adscrito más tarde a unos supuestos niveles de tránsito con la unidad suprayacente (Martínez, 1998) y finalmente asimilado a la Formación Sandia. Los únicos datos paleontológicos exclusivos de esta unidad, aparte de abundantes icnofósiles sin valor bioestratigráfico, se limitan a un yacimiento de trilobites, braquiópodos y cefalópodos no especificados del *Caradociano* (río La Pampa, Cuadrángulo de Esquena: Laubacher, 1974) y a un trilobites mal identificado procedente de un tramo de pizarras con nódulos calcáreos, con el que culmina localmente la Fm. Sandia en la sección de Tastayoc (Cuadrángulo de Urubamba: Carlotto *et al.*, 1996). En ausencia de dataciones relevantes, o de rasgos que

permitan interpretar la unidad como diacrónica más allá de la simple especulación, la Formación Sandia fue atribuida al rango Sandbiano (*pro parte*)-Katiano *sensu lato* por Gutiérrez-Marco *et al.* (2008). En principio tampoco podría descartarse su extensión hasta el Hirnantiano, dado que, en buena parte de la Cordillera Oriental, la unidad da paso en aparente concordancia a la Formación San Gabán, compuesta por diamictitas glaciomarinas datadas como Hirnantiano?-Telychiano (Díaz-Martínez, 2005), o bien consideradas enteramente de época Llandovery (Díaz-Martínez y Grahn, 2007).

AFLORAMIENTOS DEL ALTIPLANO

El trabajo de Díaz-Martínez *et al.* (2001) posibilitó reasignar, a la Formación Sandia, una unidad arenosa aflorante al norte de Ayaviri, que previamente había sido comparada con la Formación Calapuja inferior por Laubacher (1977, 1978) y De la Cruz (1995). Su adscripción a la Formación Calapuja (en el sentido modificado por Palacios *et al.*, 1993) se mantiene, no obstante, en la nueva cartografía de Cerrón y Chacaltana (2003), quienes estiman una equivalencia directa entre las formaciones Calapuja y Sandia, delimitadas ambas entre el “Grupo” San José y la Formación San Gabán en el ámbito considerado. Díaz-Martínez *et al.* (2001) reconocen la Formación Sandia al norte de Ayaviri, en base al descubrimiento de las diamictitas de la Formación San Gabán, con la clásica secuencia formacional Sandia-San Gabán-Ananea, propia del dominio tectonoestratigráfico de la Cordillera Oriental, para un sector emplazado, en este caso, en la región morfotectónica del Altiplano. Tal interpretación concuerda con su localización al este de la falla de Ayaviri, que sirve de límite entre los dominios geológicos del Altiplano y la Cordillera Oriental, e implica que todos los afloramientos de la Formación Calapuja, cartografiados al noreste de la misma, corresponden en realidad a la Formación Sandia. Desde el punto de vista paleontológico, se conocen dos yacimientos en la parte baja de la Fm. Sandia, localizados al NO y NE de Ayaviri (Laubacher, 1977, 1978), donde este autor refirió el hallazgo de fósiles “caradocianos”, consistentes en braquiópodos, bivalvos, crinoideos, conularias y algunos trilobites, ninguno de ellos especificado a nivel taxonómico. La relocalización del yacimiento de Punco Punco (NNE de Ayaviri) ha permitido obtener nuevos fósiles, cuyo examen preliminar confirma la datación anterior.

RELACIONES CON LA FORMACIÓN CALAPUJA

Laubacher (1977, 1978) definió la Formación Calapuja como un conjunto muy potente con predominio arenoso, en realidad un Grupo (en sentido litoestratigráfico) compuesto por dos formaciones separadas por una presunta “laguna ashgilliana”. Se trataba, por un lado, de la Formación Calapuja “inferior” (3500 m visibles), atribuida cuanto menos al Ordovícico Superior (base no aflorante); y, por otro, de la Formación Calapuja “superior” (600 m, con mayor predominio pizarroso), atribuida al Silúrico inferior. Posteriormente, Palacios *et al.* (1993) restringieron la Formación Calapuja a la división inferior de Laubacher (1977, 1978), reuniendo su división superior, junto con la inferior de la Fm. Lampa original, en la nueva Formación Chagrapi (1100 m). La base de esta última, en opinión de Díaz-Martínez (1998) y Díaz-Martínez y Grahn (2007), podría ser diacrónica con respecto a la Formación Calapuja redefinida, y amortiguaría la supuesta laguna estratigráfica del Ordovícico terminal, que consideran dudosa o inexistente.

Retomando el tema de las relaciones estratigráficas entre las formaciones Sandia y Calapuja, ya señalamos que algunos autores consideran a ambas como equivalentes, o incluso como intercambiables (Cerrón y Chacaltana, 2003), de acuerdo con la correlación de Laubacher (1977) para su primitiva “Calapuja Inferior”. Otras opiniones, por el contrario, apuntan a la correlación completa de la Formación Calapuja del Altiplano con el conjunto de las formaciones San José y Sandia de la Cordillera Oriental, siguiendo el modelo de un cambio lateral de facies (Sánchez y Zapata, 2003). La cuestión sigue abierta pero, en nuestra opinión, la Formación Calapuja es claramente más moderna que la Formación San José, lo que viene refrendado por el estudio preliminar de los fósiles encontrados cerca de la base visible de la primera unidad al O y SO de Calapuja, que incluyen la célebre sección de la Hacienda Buena Vista.

AFLORAMIENTOS DEL VALLE DEL APURÍMAC

Monge *et al.* (1998) correlacionan con la Formación Sandia una sucesión cuarcítica que origina resaltes morfológicos en la margen derecha del río Apurímac, y que se halla comprendida estratigráficamente entre las pizarras de la Formación San José, muy fosilífera, y las de la Formación Ananea (Silúrico-Devónico), por lo que tal asignación litoestratigráfica parece bien justificada. Sin embargo, la revisión de los afloramientos por parte del primer y del tercer autor, llevó a la localización de secuencias métricas de diamictitas tanto en la base de la unidad, como intercaladas en su tercio superior, idénticas desde todo punto de vista a las diamictitas de la Formación San Gabán. En ausencia de evidencias paleontológicas que permitan constatar su edad, la identificación de la Formación Sandia en este sector es dudosa, ya que la unidad parecería en principio más correlacionable con un desarrollo lateral de la Formación San Gabán, que con la Formación Sandia.

CORRELACIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

Hasta el momento y con un sentido eminentemente práctico, cualquier sucesión con predominio arenoso, comprendida entre las pizarras fosilíferas del Ordovícico y la Formación Ananea, venía siendo asignada a la Formación Sandia, salvo en el Altiplano, donde la tradición refrendaba su adscripción a la Formación Calapuja. El hallazgo de sucesiones cuarcíticas y volcanoclásticas que debutan en el Hirnantiano (la Formación Ollantaytambo, según los nuevos datos cronométricos de Bahlburg *et al.*, 2008), demuestra que el esquema estratigráfico para el Ordovícico Superior peruano es más complejo, y que la llamada “Formación Sandia” en el valle del río Apurímac es una unidad nueva, cuyo influjo glaciomarino la sitúa en el Ordovícico terminal o incluso en el Silúrico, si atendemos al registro sedimentario de las glaciaciones en el norte de los Andes Centrales (Díaz-Martínez y Grahn, 2007).

La edad de la auténtica Formación Sandia continúa siendo una incógnita, pero parece más coherente pensar que, dentro de la misma, pueden existir diferentes desarrollos regionales que involucren hiatos de magnitud variable, en vez de seguir considerándola como una secuencia continua que se inicia dentro del Sandbiano y continúa su depósito hasta finales del Hirnantiano. Un último factor “desestabilizador” a señalar, viene dado por el hallazgo de una facies especial de “pizarras micáceas carbonatadas” (con textura granoblástica de cuarzo y carbonatos) en el área tipo de la Formación Sandia, que se desarrolla en tramos métricos con notable alteración esferoidal al sur de Padreyoc (Masiapo, valle del río Huari Huari: De la Cruz y Carpio Ronquillo, 1996, foto n° 11). Estas intercalaciones y su intemperismo subredondeado, recuerdan notablemente a las capas de diamictitas observadas en el valle del Apurímac, y plantean que tal vez la auténtica Formación Sandia registre también un influjo glaciomarino, pero esta vez relacionado con la glaciación gondwánica del Ordovícico terminal.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo constituye una contribución al proyecto CGL2009-09583 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

REFERENCIAS

- Bahlburg, H., Carlotto, V. y Cárdenas, J. 2006. Evidence of Early to Middle Ordovician arc volcanism in the Cordillera Oriental and Altiplano of southern Peru, Ollantaytambo Formation and Umachiri beds. *Journal of South American Earth Sciences*, **22** (1), 52-65.
- Bahlburg, H., Vervoort, J.D., Du Frane, S.A. y Carlotto, V. 2008. Provenance of the early Paleozoic Ollantaytambo Formation, southern Peru: The U-Pb and Hf isotope evidence of detrital zircons. *Resúmenes XIV Congreso Peruano de Geología*, paper G09, 3 pp, edic. CD.
- Brussa, E., Maletz, J., Mitchell, C.E. y Goldman, D. 2007. *Nemagraptus gracilis* (J. Hall) from Bolivia and Peru. *Acta Palaeontologica Sinica*, **46** (suppl.), 57-63.
- Bulman, O.M.B. 1931. South American graptolites with special reference to the Nordenskjöld Collection. *Arkiv för*

- Zoologi*, **22A** (3), 1-111.
- Cárdenas, J., Carlotto, V., Romero, D., Jaimes, F. y Valdivia, W. 1997. Geología de los cuadrángulos de Chuanquiri y Pacaypata. *Boletín INGEMMET, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, **89**, 1-217.
- Carlotto, V., Cárdenas, J., Romero, D., Valdivia, W. y Tintaya, D. 1999. Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu. *Boletín INGEMMET, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, **127**, 1-219.
- Carlotto, V., Gil, W., Cárdenas, J. y Chávez, R. 1996. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. *Boletín INGEMMET, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, **65**, 1-245.
- Cerrón Z., F. y Chacaltana B., C. 2003. *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayaviri (30-u), Escala 1:50.000*. Informe Interno P-1029, INGEMMET, Lima, 19 pág.
- De la Cruz B., N. 1995. Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro. *Boletín INGEMMET, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, **58**, 1-144.
- De la Cruz B., N. y Carpio Ronquillo, M. 1996. Geología de los Cuadrángulos de Sandia y San Ignacio. Carta Geológica nacional, Hoja 29-y, 29-z. *Boletín INGEMMET, Serie A (Carta Geol. Nacional)*, **82**, 1-125.
- Díaz-Martínez, E. 1998. Silurian of Peru and Bolivia: recent advances and future research. *Temas Geológico-Mineros ITGE*, **23**, 69-75.
- Díaz-Martínez, E. 2005. Procedencia y edad de las diamictitas del Paleozoico Inferior de la cuenca de Perú-Bolivia (Gondwana occidental). *Geogaceta*, **38**, 235-238.
- Díaz-Martínez, E. y Grahn, Y. 2007. Early Silurian glaciation along the western margin of Gondwana (Peru, Bolivia and northern Argentina): Palaeogeographic and geodynamic setting. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **245** (1-2), 62-81.
- Díaz-Martínez, E., Acosta, H., Cárdenas, J., Carlotto, V. y Rodríguez, R. 2001. Paleozoic diamictites in the Peruvian Altiplano: evidence and tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, **14**, 587-592.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Albanesi, G.L., Sarmiento, G.N. y Carlotto, V. 2008. An Early Ordovician (Floian) conodont fauna from the Eastern Cordillera of Peru (Central Andean Basin). *Geologica Acta*, **6** (2), 147-160.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Carlotto, V., Cárdenas, J., Finney, S.C., Rábano, I., Villas, E. & Herrera, Z. 2004. Paleontología y rasgos paleobiogeográficos del Ordovícico del sur de Perú. Resúmenes Extendidos XII Congreso Peruano de Geología. *Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial* **6**, 455-458.
- Laubacher, G. 1974. Le Paléozoïque inférieur de la Cordillère orientale du sud-est du Pérou. *Cahiers ORSTOM, série Géologique*, **6** (1), 29-40.
- Laubacher, G. 1977. *Géologie des Andes péruviennes. Géologie de l'Altiplano et de la Cordillère Orientale au nord et nord-ouest du lac Titicaca (Pérou)*. Thèse Docteur d'Etat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Académie de Montpellier, 117 pág. + B1-B12, 11 lám.
- Laubacher, G. 1978. *Estudio Geológico preliminar de la Cordillera Oriental, III. Estudio Geológico del Bloque C, Dpto. Puno*. Informe ORSTOM-Servicio de Geología y Minería, Lima, 89 pág.
- Martínez V., W. 1998. El Paleozoico Inferior en el sur del Perú: nuevos datos paleontológicos y sedimentológicos de las cuarcitas del Ordovícico –región de Sandia. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, **88**, 21-38.
- Martínez, W. y Monge, R. 2000. Estratigrafía del Paleozoico en la Cordillera Oriental al sureste del Perú, frontera Perú-Bolivia. X Congreso Peruano de Geología, Lima, *Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial* **2**, 38 (resumen), y CD-ROM adjunto, n° GR36a 16 pág. (artículo completo).
- Monge M., R.W. y Zedano C., J. 1996. Geología del cuadrángulo de Limbani. *Boletín INGEMMET, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, **84**, 1-179.
- Monge Miguel, R., López Avilés, J.C., Boulanger R., E. y Carpio Ronquillo, M. 1997. Geología de los cuadrángulos de Esquena, Santa Bárbara y Azata. *Boletín INGEMMET, Ser. A (Carta Geol. Nac.)*, **91**, 1-124.
- Monge M., R., Valencia M., M. & Sánchez M., J. 1998. Geología de los cuadrángulos de Llochegua, río Picha y San Francisco. *Boletín INGEMMET, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, **120**, 1-253.
- Palacios M., O., De la Cruz, J., De la Cruz, N., Klink, B.A., Allison, R.A. y Hawkins, M.P. 1993. Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca – sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur). *Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, **42**, 1-257.
- Palacios M., O., Molina G., O., Galloso C., A. y Reyna L., C. 1996. Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Tambopata. *Boletín INGEMMET, Serie A (Carta Geológica Nacional)*, **81**, 1-188.
- Reinmann, C.R., Spiske, M., Bahlburg, H., Lopez, S. y Carlotto, V. 2006. Sedimentological analysis of the Ordovician and Devonian basins in southern Peru and northern Bolivia. Resúmenes Extendidos XIII Congreso Peruano de Geología, Lima. *Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial* **7**, 566-569.
- Sánchez F., A. y Zapata M., A. 2003. Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Sicuani (29-t), Nuñoa (29-u), Macusani (29-v), Limbani (29-x), Sandia (29-y), San Ignacio (29-z), Yahuri (30-t), Azángaro (30-

v), Putina (30-x), La Rinconada (30-y), Condoroma (31-t), Ocuvi (31-u), Juliaca (31-v), Callalli (32-t) y Ácora (32-x), Escala 1:100.000. INGEMMET, Lima, 42 pág.

Spiske, M., Reimann, C., Bahlburg, H. y Carlotto, V. 2006. Sedimentology and facies analysis of the Ordovician San José and Sandia formations in the Sandia region, Eastern Cordillera of southern Peru. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, **101**, 121-138.