

SIGNIFICADO DE LAS OFIOLITAS NEOPROTEROZOICAS DE LA CORDILLERA ORIENTAL DEL PERÚ (9°30'-11°30')

Ricardo Castroviejo⁽¹⁾, José Macharé⁽²⁾, Paulo Castro⁽³⁾, Eurico Pereira⁽⁴⁾, José F. Rodrigues⁽⁴⁾, Colombo G. Tassinari⁽⁵⁾, Arne Willner⁽⁶⁾, Jorge Acosta⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Minas, c/ Ríos Rosas, 21, 28003 Madrid, ricardo.castroviejo@upm.es; ⁽²⁾ EXPLOANDES SAC, Javier Prado Este 1238, Corpac, Lima 27 – PERU, jmachare@exploandes.com; ⁽³⁾ LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-956 S. Mamede Infesta, Portugal; ⁽⁴⁾ Fac. Engenharia Univ. Porto (FEUP), r. Dr. Roberto Frias s/n 4200-465 Porto, Portugal; euricosousap@gmail.com / felic@fe.up.pt; ⁽⁵⁾ Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Rua do Lago 562, Cidade Universitaria, São Paulo, Brasil, CEP 05508-080; ccgtassi@usp.br; ⁽⁶⁾ Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität, 44780 Bochum, Germany, arne.willner@rub.de; ⁽⁷⁾ INGEMMET, Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. Av. Canadá 1470. Lima 41- Perú; jacosta@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Los cinco trabajos precedentes (Rodrigues *et al.* 2010, a y b, Tassinari *et al.* 2010, Castroviejo *et al.* 2010 b, Willner *et al.* 2010) han tratado distintos aspectos de los terrenos ultramáficos conocidos en la **CO**r, Cordillera Oriental, cuya ubicación, destacada en rojo, puede encontrarse en la figura 1. Es el momento de intentar una síntesis que, mediante la integración y la discusión de los resultados hasta ahora obtenidos, permita alcanzar una interpretación y, al menos, esbozar respuestas a algunas cuestiones fundamentales acerca del basamento pre-andino de la Cordillera. En primer lugar es pertinente examinar, a la vista de los nuevos datos presentados, la cuestión esencial: ¿se trata realmente de ofiolitas? Luego, habrán de plantearse cuestiones como el emplazamiento y la historia geológica de los terrenos implicados, en el marco de la evolución del supercontinente Rodinia y de la Cadena Andina, para finalmente tratar de comprender su significado geotectónico.

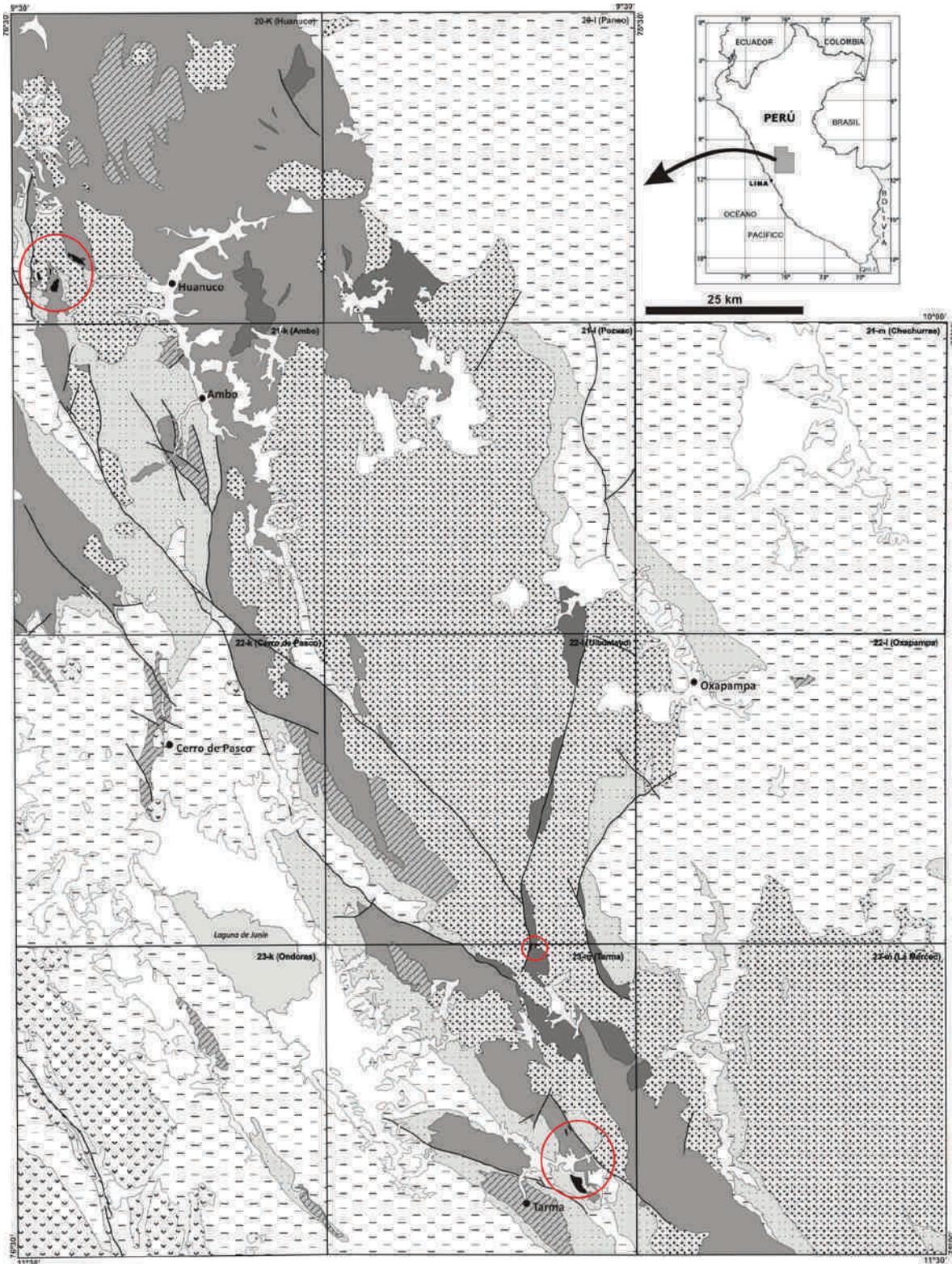
EL CONCEPTO ACTUAL DE OFIOLITAS

El concepto de ofiolita, a pesar de su temprana introducción por Brongniart (1813) y de las precisiones de Steinman (1927), fue ignorado durante años excepto en Europa (Alpes, Apeninos), hasta que el desarrollo de la Tectónica de Placas facilitó su comprensión y su aplicación a escala global, sancionada por la **CP**, Conferencia de Penrose (Anónimo, 1972), que estableció el perfil *ortodoxo* de una secuencia ofiolítica, ejemplarmente expuesto en Troodos (Chipre), como segmento de litosfera oceánica generada en una dorsal y luego obducida sobre la corteza continental (perfil, a grandes rasgos, similar al representado en la fig. 1 de Castroviejo *et al.* 2010 b). La multiplicación de investigaciones sobre el tema (Coleman, 1976) obligó a prontas revisiones. Miyashiro (1973) concluyó, apoyado en datos geoquímicos, que las ofiolitas de Troodos no correspondían a una dorsal oceánica, sino a una zona de supra-subducción, y en otros casos se constató la *heterodoxia* de las ofiolitas reales, que se desviaban del perfil ideal de la CP. Actualmente se acepta una variedad de ofiolitas, de ambientes generadores y de mecanismos de emplazamiento (Coleman, 2000; Metcalf & Shervais, 2008, entre muchos otros: cf. Peters, Nicolas y Coleman, eds. 1990; Dilek y Newcomb, eds. 2003; Kusky, ed., 2004; Dilek y Robinson, eds. 2003).

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS FUNDAMENTALES

La aloctonía de los complejos ultramáfico-máficos de la **CO**r, su edad (cuando se ha determinado) más antigua que la del encajante, la ausencia de metamorfismo de contacto en éste, la fuerte impronta de metamorfismo dinámico de los mismos, con historias de deformación diferentes de las del entorno, así como su Petrología y su quimismo de litosfera oceánica son algunos de los rasgos que, en conjunto, caracterizan dichos macizos como ofiolitas (Castroviejo *et al.*, 2010 a).

La cartografía presentada de los macizos ultramáficos-máficos de la **CO**r (Rodrigues *et al.* a y b) muestra ciertas singularidades de éstos, como la ausencia del complejo de diques o la escasez de basaltos / anfíbolitas (excepto en Andas-Raccha, Huánuco), que los desvían del tipo de ofiolitas CP y



- Cobertera sedimentaria: aluviones, coluviones, depósitos glaciares, etc
- Sedimentos siliciclásticos y carbonatados del ciclo andino, de ambiente distensivo y sinorogénicos. Triásico Superior a Pleistoceno.
- Molassas variscas de facies dominantes continentales, con volcanismo asociado. Carbonífero Inferior a Triásico Inferior.
- Secuencia siliciclástica de bajo grado metamórfico y edad Ordovícico-Inferior a Devónico Superior(?)
- Metasedimentos de bajo grado y protolito siliciclástico con metavolcanitas escasas. Edad precámbrica final probable. Comprenden (a) núcleos de rocas de alto grado (gneises y granitoides migmatíticos) y rocas granulíticas.
- Plutonismo paleozoico superior a mesozoico
- Magmatismo cenozoico relacionado con la subducción andina.

los aproximan a tipos como el 1 (Alpino) de Dewey (2003), el 1 (Ligur) o el 7 (Franciscano) de Dilek (2003), o bien al tipo LOT (*Lherzolite Ophiolite Type*) de Nicolas y Boudier (2003).

El metamorfismo regional de alta presión en facies anfibolitas (pico metamórfico $\sim 12.5 \pm 1$ kb, $535 \pm 20^\circ\text{C}$, Willner et al., 2010) evidenciado en el macizo de Tapo, a su vez, impone condiciones decisivas para el mecanismo de emplazamiento y para la historia geológica. En efecto, el mecanismo tradicionalmente más socorrido para explicar el emplazamiento de los complejos ofiolíticos, la obducción de litosfera oceánica joven sobre la corteza continental, no explicaría la gran profundidad (40-50 km) constatada, que sugiere más bien condiciones de subducción o incluso colisión.

Los datos geocronológicos (Tassinari et al., 2010) son también explícitos, al indicar una edad neoproterozoica (~ 680 Ma, Sm-Nd) para la cristalización de los protolitos ultramáficos y máficos (cromitas y gabro) en el macizo de Tapo, mientras que el metamorfismo habría alcanzado la facies anfibolitas en el Ordovícico, traspasando en su fase de enfriamiento el umbral de los 500°C hacia los 450 Ma (Ordovícico Superior, K-Ar).

Todos los datos son pues coherentes al caracterizar los terrenos estudiados como ofiolitas, diferenciadas claramente de su entorno, aunque la estratigrafía observada no responde totalmente al modelo *ideal* CP, ya sea por su tipología original, ya por efecto de dislocación tectónica.

En conjunto, estos resultados permiten aportar algunas precisiones a la evolución geológica del sustrato andino y algunas sugerencias acerca de la fragmentación del supercontinente Rodinia. La información expuesta muestra que, en este caso como en general en la Cordillera (*vbgr.* Ramos 2008, 2010), la evolución temprana del sustrato andino se relaciona con la historia póstuma del supercontinente Rodinia y con la interacción de los bloques continentales derivados. En efecto, los protolitos ultramáficos muestran un quimismo de litosfera oceánica (dorsal o isla oceánicas, Castroviejo et al. 2009) que hace pensar en un ámbito generador de *rift* y, por tanto, en una fragmentación de Rodinia que alcanza su margen NW hacia los 680 Ma (Rodrigues et al., 2010 a, Tassinari et al., 2010). Por otra parte, en el basamento grenviliano de Laurentia (actualmente Sierras Pampeanas occidentales, Argentina) se ha identificado un magmatismo anorogénico, precursor del *rifting* Laurentia-Gondwana E, datado en 774 Ma (Baldo et al., 2006). Por tanto, las edades más recientes obtenidas en la CO_r sugieren una progresión del *rifting* de sur a norte, afectando primero a Gondwana E y luego a Gondwana O, lo que está de acuerdo con el marco generalmente aceptado (Dalziel, 1997, Ramos y Alemán, 2000, Casquet et al., 2009).

Carecemos de datos geocronológicos hasta el evento metamórfico de alta presión y edad ordovícica, ~ 450 Ma, el cual sitúa los terrenos estudiados, al menos en el macizo de Tapo (Tarma, Dept^o. Junín), en un contexto de subducción o colisional, que podría relacionarse con la colisión de Laurentia con el margen proto-andino de Gondwana (Dalziel, 1997) o con la evolución del Orógeno Famatiniano-Tacónico (Chew et al., 2007) o Terra Australis (Cawood, 2005).

El emplazamiento de las ofiolitas en su ubicación actual fue precedido de un fuerte desmantelamiento erosivo (*unroofing*) de la cadena pre-andina, puesto que el macizo de Tapo aflora actualmente, cabalgante y en contacto directo, sobre los sedimentos del Grupo Ambo, exentos de metamorfismo. Todos estos materiales, incluidos los planos de cabalgamiento, resultan luego afectados por la deformación andina, lo que permite suponer que el emplazamiento actual ocurrió en estadios andinos tempranos.

CONCLUSIONES Y CUESTIONES PENDIENTES

Los terrenos ultramáficos-máficos estudiados en la Cordillera Oriental ($9^\circ 30' - 11^\circ 30'$) corresponden a fragmentos de secuencias ofiolíticas desmembradas, cabalgantes sobre formaciones de edades y litologías diversas, desde el supuesto pre-cámbrico del Grupo Huácar o Complejo de Marañón hasta los depósitos detríticos paleozoicos del Grupo Ambo (fig. 1). Su génesis se relaciona con la fragmentación neoproterozoica (~ 680 Ma) del margen NO del Supercontinente Rodinia. Es escasa la información sobre su mecanismo de emplazamiento, ya que se carece de datos precisos correspondientes a los ca. 200 Ma transcurridos hasta el Ordovícico Superior, ~ 450 Ma. En ese momento se ha datado un evento metamórfico de alta presión ($\sim 12.5 \pm 1$ kb, $535 \pm 20^\circ\text{C}$) que sitúa los terrenos del Macizo de Tapo a una considerable profundidad (ca. 40 a 50 km), probablemente en relación con alguna colisión de bloques continentales o con el orógeno Famatiniano o *Terra Australis*, cuyo desmantelamiento es necesariamente anterior al emplazamiento del macizo en su actual posición, sobre sedimentos exentos de metamorfismo (Grupo Ambo). Dicho emplazamiento puede haber ocurrido en una fase temprana del orógeno andino, ya que los planos de cabalgamiento, lo mismo que las ofiolitas y su encajante, están afectados por la deformación andina.

El carácter disperso y discontinuo de los afloramientos conocidos (fig. 1) impide por el momento mayores precisiones y, en particular, ubicar la sutura o zona de raíz de las series ofiolíticas. Queda por confirmar, por otra parte, hasta qué punto los trabajos pendientes y, en particular, un desmuestre más afortunado de los macizos de Huamalli, Andas-Raccha y Huancapallac (Huánuco), en general muy alterados, pueden aportar mayores precisiones o diferenciaciones a la información del macizo de Tapo.

REFERENCIAS

- Anónimo (1972) *Penrose Field Conference on ophiolites*. Geotimes, 17: 24-25.
- Baldo E et al. (2006) *Neoproterozoic A-type magmatism in the Western Sierras Pampeanas (Argentina): evidence for Rodinia break-up along a proto Iapetus rift?* Terra Nova, 18, 6: 388-394.
- Brongniart A. (1813) *Essai de classification minéralogique des roches mélanges*. Journal des Mines, XXXIV: 190-199.
- Casquet C. et al. (2009) *Paleoproterozoic terranes in southern S. America: accretion to Amazonia, involvement in Rodinia formation and further W. Gondwana accretion*. Proc. Geol. Soc. London Fermor Meet., Rodinia: Supercontinents, Superplumes and Scotland, Edinburgh.
- Castroviejo R et al. (2009) *Pre-andean serpentinite-chromite orebodies in the Eastern cordillera of Central Peru, Tarma province*. Proc. 10th. Biennial SGA Meeting, Townsville, Australia: 927-929.
- Castroviejo R et al. (2010 a) *Ophiolites in the Eastern Cordillera of the central peruvian Andes. IMA2010: 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, Budapest, 21-27.08.10 (in press)*
- Castroviejo R et al. (2010 b) *Metalogenia asociada a los segmentos ofiolíticos...*, Perú Central. (Este vol.)
- Cawood PA (2005) *Terra Australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic*. Earth Sci. Rev. 69: 249-279.
- Coleman RG (1977) *Ophiolites*. Springer V., N. York, 229 p.
- Coleman RG (2000) *Prospecting for ophiolites along the California continental margin*. Geol. Soc. Am. Spec. Paper 349: 351-364.
- Chew et al. (2007) *U-Pb geochronology evidence for the evolution of the Gondwana margin of the north-central Andes*. GSA Bull. 119:697-711.
- Dalziel IWD (1997) *Neoproterozoic-Paleozoic geography and tectonics*. GSA Bull., 109, 1: 16-42
- Dewey J. (2003) *Ophiolites and lost oceans: Rifts, ridges, arcs, and/or scrapings?* Geol. Soc. Am. Spec. Paper 373: 153-158.
- Dilek Y (2003) *Ophiolite concept and its evolution*. Geol. Soc. Am. Spec. Paper 373: 1-16
- Dilek Y, Newcomb S (eds., 2003) *Ophiolite concept and the evolution of geological thought*. Geol. Soc. America, Spec. Paper 373, 504 p.
- Dilek Y, Robinson PT (eds. 2003) *Ophiolites in Earth History*. Geol. Soc. Spec. Pub. 218, 717 p.
- Kusky TM (ed., 2004) *Precambrian Ophiolites and Related Rocks*. Elsevier, 748 p.
- Metcalf RV, Shervais JW (2008) *Suprasubduction-zone ophiolites: is there really an ophiolite conundrum?* Geol. Soc. Am. Spec. Paper 438: 191-222.
- Miyashiro A. (1973) *The Troodos ophiolitic complex was probably formed in an island arc*. Earth and Planetary Sci. Let. 19, 2:218-224.
- Nicolas A., Boudier F. (2003) *Where ophiolites come from and what they tell us*. Geol. Soc. Am. Spec. Paper 373: 137-152.
- Peters TJ, Nicolas A, Coleman RG (eds., 1990) *Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*. Proc. Ophiol. Conference, Muscat, Oman (7-18.01.1990).
- Ramos V (2008) *The basement of the Central Andes: the Arequipa and related terranes*. Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 36:289-324.
- Ramos V (2010) *The Grenville-age basement of the Andes*. Jour. South Am. Earth Sci., 29: 77-91.
- Ramos V, Alemán A (2000) *Tectonic Evolution of the Andes*. 31st. Int. Geol. Congr., R. Janeiro, p. 635-685.
- Rodrigues JF et al. (2010 a) *Geología y Estructura de las Ultramafitas de Tapo y Acobamba...* (Este vol.)
- Rodrigues JF et al. (2010 b) *Evidencias estructurales de aloctonia... Cordillera Oriental, Huánuco*. (Este vol.)
- Steinman G. (1927) *Der ophiolitischen Zonen in der mediterranischen Kettengebirge*. 14th. Internat. Geol. Congr., Madrid, 2: 638-667.
- Tassinari CG et al (2010) *Neoproterozoic ultramafic and mafic magmatism in the Eastern Cordillera...* (Este vol.)
- Willner A. et al. (2010) *High pressure metamorphic conditions in garnet amphibolite from a collisional...* (Este vol.).