



XVIII Congreso Peruano de Geología

Relaciones espacio-temporales entre pórfidos, skarns estériles y mineralización polimetálica en skarn, cuerpos de reemplazamiento en rocas carbonatadas y vetas en el Distrito de Morococha, Perú

Honza Catchpole^{1,2}, Aldo Bendezú¹, Jean Vallance³, Kalin Kouzmanov¹, Carlos Astorga⁴ y Lluís Fontboté¹

¹ Department of Earth Sciences, University of Geneva, Rue des Maraîchers 13, 1205 Geneva, Switzerland

² Sumitomo Metal Mining America Inc., 1730 – 700 W Georgia Street, Vancouver, B.C., Canada (catchpole@gmx.de)

³ Ingeniería de Minas e Ingeniería Geológica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru (jvallance@pucp.pe)

⁴ Geology & Mineral Exploration E.I.R.L. Jr. Alonso de Molina Nro. 735 Dpto. 504, Lima 33, Perú (c.astorga@outlook.com.pe)

1. Introducción

En el distrito de Morococha vetas y cuerpos de reemplazamiento de Zn-Pb-Ag-Cu se hospedan en skarns y rocas carbonatadas que son parte de sistemas magmático-hidrotermales de tipo pórfido de edad Miocena desarrollados en pulsos sucesivos (Fig. 1, Cerro de Pasco Copper Corporation, 1948; Catchpole, 2011, Catchpole et al., 2015a y b; Petersen, 1965; Bartos, 1989), siendo las vetas polimetálicas los eventos de mineralización más jóvenes de cada pulso. De esa forma, cortan tanto los pórfidos como los cuerpos de reemplazamiento. La mineralogía de las vetas y cuerpos de reemplazamiento configuran una clara zonación metálica en el distrito con ensambles ricos en cobre en su parte central y enriquecido progresivamente en zinc, plomo y plata hacia las zonas distales. El presente estudio se focaliza en la génesis de las mineralizaciones polimetálicas en skarn y su transición hacia los cuerpos polimetálicos cordilleranos reemplazando rocas carbonatadas, en base a los estudios de Catchpole et al. (2015a y b) y Catchpole et al. (en revisión). Los resultados indican que los cuerpos de skarn están relacionados a varios pulsos de inyección de fluidos magmáticos durante un intervalo de más de 2.5 millones de años, entre 9.3 y 6.8 Ma.

2. Contexto geológico

El Distrito de Morococha está localizado a 150 km al este de Lima, en la terminación Noroeste del Domo de Yauli. El

Domo de Yauli es un domo tectónico con una longitud de 30 km que en el distrito de Morococha está estructurado como un anticlinal de rumbo NNW. Las unidades más antiguas que ocupan el núcleo del anticlinal son rocas volcano-sedimentarias del Grupo Mitu, cuya atribución al Triásico (Rosas et al., 2007) ha sido recientemente confirmada (Spikings et al., 2016), conocidas localmente como “Volcánicos Catalina” (Terrones, 1949; Rivera y Kobe, 1983). Siguen rocas carbonatadas de edad Triásico-Jurásico del Grupo Pucará, con sus formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga, areniscas y calizas del Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior) y rocas carbonatadas de las formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha (Cretácico Superior). Las Capas Rojas de Casapalca (Terciario) descansan en discordancia sobre calizas del Cretácico Superior en la parte suroeste del distrito.

La mayor parte de la mineralización polimetálica en skarn y en cuerpos de reemplazamiento en rocas carbonatadas se hospeda en la Formación Chambará, constituida principalmente por dolomías y en menor grado por calizas y cuya potencia varía de 200 a 400 m dentro del distrito. La base es frecuentemente reemplazada por cuerpos de piritita y cuerpos polimetálicos. En la base del Chambará, se encuentran también cuerpos lenticulares de anhidrita, de origen evaporítico, los cuerpos de anhidrita han sido en parte afectados por hidrotermalismo mioceno (Kouzmanov et al., 2011). La Formación Aramachay, de 70 a 140 m de potencia en el distrito, está formada por dolomías ricas en chert, y menor medida por limolitas y calizas. El origen del chert de las dolomías son espículas de esponjas silíceas; debido a su poca reactividad, las dolomías ricas en chert y

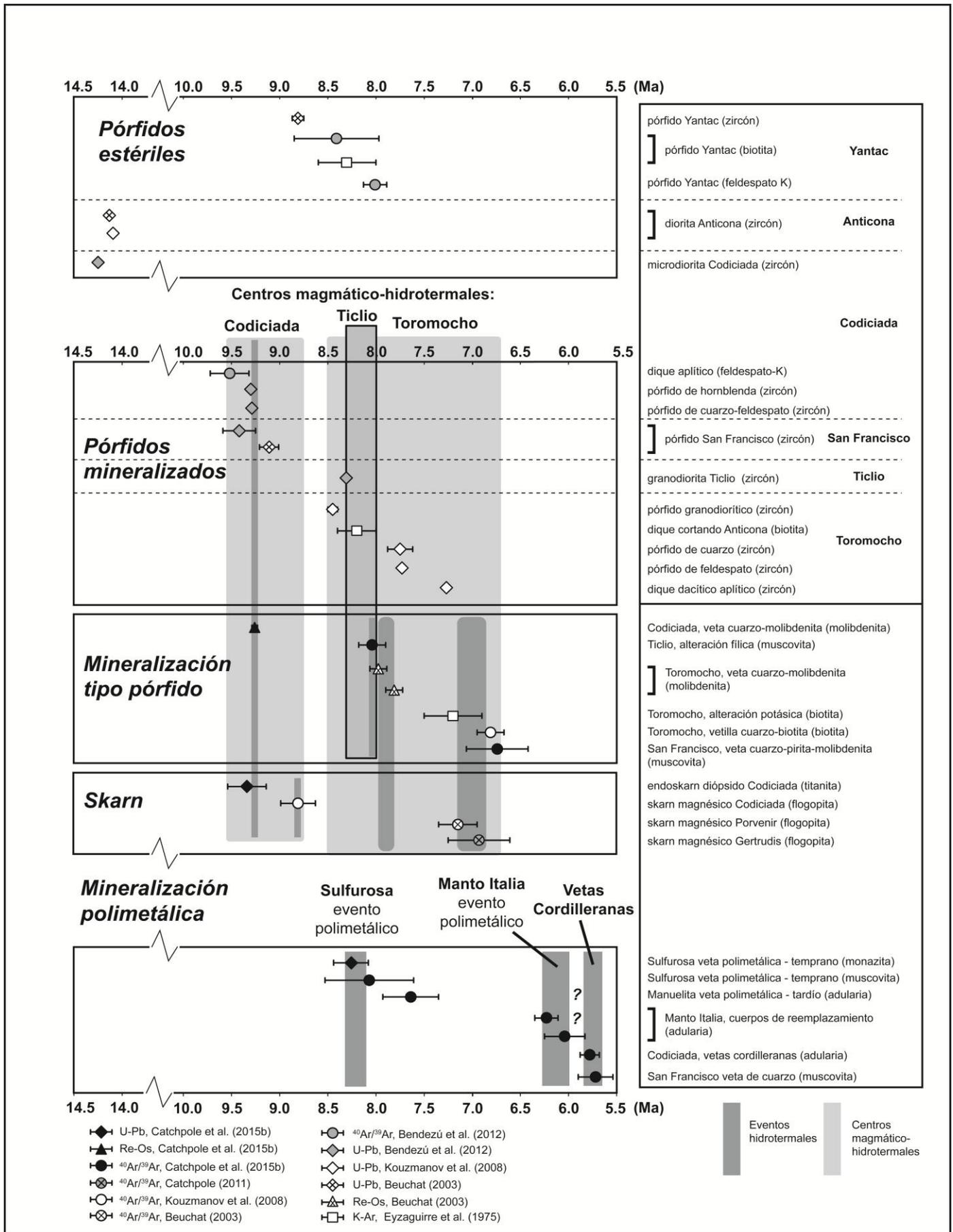


Fig. 1. Diagrama que resume los eventos magmáticos e hidrotermales en el distrito de Morococha (basado en Catchpole et al. 2015b).

en general la Formación Aramachay presentan pocos cuerpos polimetálicos de reemplazamiento (Rosas et al., 2014, Ritterbush et al., 2015). En la base de la Formación Condorsinga afloran coladas de basalto andesíticos y andesitas alcalinas del “Basalto Montero”, con 15 m de potencia en promedio.

El distrito fue afectado por una importante actividad magmática post-tectónica. Los intrusivos más antiguos son la microdiorita Codiciada y la diorita Anticona, emplazados a 14.3 - 14.1 Ma (U-Pb, BendeZú et al., 2012, Beuchat 2003, Kouzmanov et al., 2008) y que no presentan mineralización asociada (pudo ser erosionada, ver más adelante). La mineralización del distrito está relacionada a tres centros magmático-hidrotermales, siendo el más antiguo el de Codiciada (9.5 - 9.3 Ma, U-Pb y Re-Os, BendeZú et al., 2012, Catchpole et al., 2015b, Kouzmanov et al., 2008) y comprende intrusiones porfiríticas, skarn de contacto y un sistema de venillas de cuarzo y molibdenita. El centro magmático-hidrotermal de Ticlio incluye un stock de pórfido (8.3 Ma, U-Pb, BendeZú et al., 2012) con mineralización sub-económica de Cu-Au y una zona de stockwork de cuarzo, magnetita y escasa calcopirita con intensa alteración potásica. Muscovita de alteración fílica está datada a 8.0 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Catchpole et al., 2015b). Toromocho es el centro magmático-hidrotermal más joven y comprende un mínimo de cinco intrusiones emplazadas durante un periodo de 1.3 Ma (de 8.5 a 7.3 Ma, U-Pb, Kouzmanov et al., 2008) y por lo menos una fase de mineralización de tipo pórfido a 8.0–7.8 Ma (Re-Os, Beuchat 2003) y otra de skarn a 7.2–6.9 Ma, que en su conjunto conforman el pórfido gigante de Cu-Mo de Toromocho (Catchpole et al., 2015b). Las vetas cordilleranas y cuerpos de reemplazamiento más importantes se han datado a 6.0–5.7 (Catchpole et al., 2015b). Concomitantemente se registra levantamiento y exhumación de los centros magmático-hidrotermales resultando en un importante “telescoping” y la preservación de sólo los niveles profundos de los centros magmáticos más antiguos.

3. Descripción de los cuerpos de skarn

Endoskarn de grosularia \pm diópsido pobre en sulfuros (pirita, esfalerita y galena \pm molibdenita) reemplaza los intrusivos de Codiciada y Toromocho, y del pórfido de Ticlio cerca del contacto con rocas carbonatadas de las formaciones Chambará y Jumasha, respectivamente. Se observan transiciones de cuerpos de skarn de algunos metros de espesor a vetas irregulares de skarn que localmente tienen una parte central de anhidrita. La edad de la molibdenita en el área de Codiciada, (9.26 \pm 0.03 Ma, Re-Os, Catchpole et al., 2015b) concuerda con la de los intrusivos porfiríticos del área (9.5-9.3 Ma, U-Pb, BendeZú et al., 2012). También se forma endoskarn de grosularia y diópsido en el Basalto Montero, y mantos polimetálicos en el contacto con rocas suprayacentes de la F. Condorsinga (ej. el Cuerpo Tashiman).

Endoskarn de diópsido se desarrolla sobre los Volcánicos Catalina en una posición adyacente al endoskarn de Codiciada. El diópsido, gris, de grano fino, está acompañado por pequeñas cantidades de titanita y epidota. Titanita ha sido datada en 9.3 \pm 0.2 Ma por el

método U-Pb (Catchpole et al., 2015b), y tiene buena concordancia con las dataciones de los intrusivos y de la molibdenita en Codiciada.

Exoskarns magnésicos de serpentina, magnetita, flogopita, tremolita, talco y clorita son los más importantes en volumen en el distrito y se desarrollan principalmente en alternancias de dolomías y calizas de la Formación Chambará, en el contacto con los intrusivos de Codiciada (Manto Italia) y con intrusivos del centro magmático de Toromocho; localmente también en Ticlio, en rocas carbonatadas de la Formación Jumasha (Chevalier, 2010). Los exoskarns magnésicos hospedan una parte de la mineralización de cobre del pórfido Toromocho y también ciertos cuerpos polimetálicos, como el Manto Italia en el área de Codiciada. Los exoskarns magnésicos tienen un característico color verde amarillento debido a la abundancia de serpentina. La flogopita es blanca-rosácea y la magnetita ocurre como diseminaciones, bandas oscuras y localmente forma cuerpos de skarn, de algunos metros de potencia, en contacto con la microdiorita Codiciada. Tremolita y talco reemplazan a serpentina en las partes internas de los cuerpos de skarn.

La ausencia de forsterita en el ensamble mineralógico sugiere que la temperatura de formación del skarn no superó los 480°C. Dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en flogopita revelan dos episodios sucesivos de formación de skarn de serpentina, el más antiguo en Codiciada (8.81 \pm 0.18 Ma, Kouzmanov et al., 2008) y el más reciente en los skarns de Gertrudis y de Porvenir, asociados al centro Toromocho: 6.9 \pm 0.3 Ma para el skarn de Gertrudis (Catchpole et al., 2015b) y 7.2 \pm 0.2 Ma para el skarn de Porvenir (Beuchat, 2003). Los análisis de isótopos estables de oxígeno y de hidrógeno en epidota y flogopita y la modelización de la composición de los fluidos responsables de su formación a temperaturas de 300 a 400°C indican una fuente magmática, sin detectable contribución de fluidos meteóricos (Catchpole et al., en revisión).

De menor importancia en volumen son los exoskarns cálcicos de andradita-diópsido \pm epidota que forman cuerpos de reemplazamiento en varias unidades, incluyendo calizas del Grupo Pucará, del Grupo Goyllarisquizga y de las formaciones Chúlec y Jumasha (Ageneau, 2008; Chevalier, 2010).

Pequeños cuerpos de exoskarn cálcico de diópsido-grosularia-espinela \pm flogopita se observan en el área de Codiciada. El diópsido es casi puro, la grosularia presenta trazas de titanio y la espinela es rica en zinc.

4. Los cuerpos polimetálicos

La mayoría de los cuerpos polimetálicos hospedados en skarn y en rocas carbonatadas se desarrollan en dolomías, menos frecuentemente en calizas, de la Formación Chambará. El Manto Italia es uno de los cuerpos polimetálicos económicamente más importantes del distrito de Morococha y fue escogido para un estudio de detalle. Este cuerpo tiene un espesor total de \sim 250 m y muestra una zonación constituida por (i) pirrotina y magnetita debajo del nivel 4,400; (ii) esfalerita, galena y calcopirita en el nivel 4,400, ensamble que constituye la parte del cuerpo Manto Italia más rica en mineralización

polimetálica (cuerpos económicos de 20 m de potencia); (iii) mantos polimetálicos tardíos encima del nivel 4,400. Las dos primeras zonas son mineralizaciones en skarn y la tercera es de tipo cordillerana hospedada en rocas carbonatadas. La pirrotina de la zona profunda (i), localmente masiva, se depositó al mismo tiempo que tremolita y talco; está reemplazada en parte por pirita, marcasita, magnetita y, en menor cantidad, por calcopirita. En la zona intermedia (ii) los sulfuros de metales base reemplazan a pirrotina y a pirita. La esfalerita es rica en hierro (16-19 mol% FeS; Catchpole, 2011). Galena contiene inclusiones de minerales de Ag, Bi y Sb. En la zona (iii), el ensamble mineralógico comprende pirita, esfalerita pobre en hierro, calcopirita, galena, tetraedrita-tennantita y hubnerita en una ganga de cuarzo, rodocrosita, calcita, y adularia; este ensamble es similar al encontrado en las vetas cordilleranas que cruzan todo el distrito de Morococha. Mineralizaciones polimetálicas cordilleranas económicas son también abundantes en otras partes del distrito, en particular en la base de la Formación Chambará cerca del contacto con los Volcánicos Catalina; ejemplos son el Manto Ombla y el Manto Katty. Edades de 6.23 ± 0.12 y 6.0 ± 0.2 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Catchpole et al., 2015b) han sido obtenidas en adularia asociada a la mineralización polimetálica de los mantos tardíos en Manto Italia, es decir edades cercanas a la edad de 5.78 ± 0.10 Ma obtenida sobre granos de adularia de una veta polimetálica en Codiciada ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Catchpole et al., 2015b).

5. Conclusiones

Fluidos hidrotermales procedentes de los centros magmáticos de Codiciada, Ticlio y Toromocho han desarrollado, además de mineralización de tipo pórfido, cuerpos de skarn, principalmente en su roca encajonante. Los cuerpos de skarn de contacto de la zona Codiciada son los más antiguos y no contienen mineralización económica. Los skarns de mayor interés económico, incluyendo el Manto Italia, son los cuerpos metasomáticos magnésicos más jóvenes (7.2–6.9 Ma, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en flogopita) hospedados en las calizas dolomíticas y dolomías de la Formación Chambará y de la Formación Jumasha. Estas edades marcan el enfriamiento final del centro magmático-hidrotermal de Toromocho. Serpentina, acompañada por magnetita y flogopita son reemplazadas por ensambles de tremolita, talco y abundante pirrotina y posteriormente por mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu. Además se formaron cuerpos mineralizados directamente reemplazando rocas carbonatadas sin desarrollo de ganga de calcosilicatos. Esos cuerpos son principalmente conformados por una asociación mineralógica de pirita, esfalerita pobre en hierro, calcopirita, galena, tetraedrita-tennantita y hubnerita en una ganga de cuarzo, carbonatos y adularia, ensamble similar al observado en las vetas polimetálicas cordilleranas que cruzan todo el distrito y que han dado edades, en el margen de error, similares a las de los cuerpos.

Este estudio muestra que los episodios de formación de skarn pueden ser complejos en el caso de superposición de diferentes episodios magmato-hidrotermales. Cada uno

de los eventos polimetálicos reconocidos en el Distrito de Morococha corresponde a un periodo de enfriamiento posterior a un pulso magmático, que también ha producido mineralización de tipo pórfido (en parte económica y en parte no).

Agradecimientos

Este estudio ha contado con el apoyo de Swiss National Science Foundation (proyecto 20020-108026) y de Pan American Silver Corp. Se agradece, en particular, a Julio Zárate, Carlos Fernández, Rubén Díaz, y Michael Steinmann por su constante apoyo.

Referencias

- Ageneau, M. 2008. Genesis of Ag-rich mineralisation in the Buenaventura and Galera veins, Yacumina zone, SW part of the Morococha district, central Peru. Unpublished Master thesis, University of Geneva, 119 pp.
- Bartos, P.J. 1989. Prograde and retrograde base metal lode deposits and their relationship to underlying porphyry copper deposits. *Econ. Geol.* 84: 1671-1683.
- Bendezú, A., Kouzmanov, K., Ovtcharova, M., Spikings, R., Fontboté, L. 2012. Timing of porphyry emplacement in the Miocene Morococha district, central Peru: U-Pb and Ar-Ar geochronological record, 34th International Geological Congress, Brisbane, Australia, pp. 1.
- Beuchat, S. 2003. Geochronological, structural, isotopes and fluid inclusion constraints of the polymetallic Domo de Yauli District, Peru. *Terre & Environnement*, 41: 130.
- Catchpole, H. 2011. Porphyry-related polymetallic mineralisation in the Morococha district, central Peru: mineralisation styles, timing and fluid evolution. *Terre & Environnement*, 102: 192.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Putlitz, B., Seo, J.H., Fontboté, L. 2015a. Zoned base metal mineralization in a porphyry system: Origin and evolution of mineralizing fluids in the Morococha District, Peru: *Econ. Geol.* 110: 39-71
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Bendezú, A., Ovtcharova, M., Spikings, R., Stein, H.J., Fontboté, L. 2015b. Timing of porphyry (Cu-Mo) and base metal mineralisation (Zn-Pb-Ag-Cu) in a magmatic-hydrothermal system - Morococha district, Peru. *Miner. Dep.* 50: 895-922.
- Catchpole, H., Bendezú, A., Kouzmanov, K., Putlitz, B., Astorga, C., Vallance, J., Fontboté, L. 2016. Skarn formation in the Morococha district, Peru. *Ore Geology Review*. En revisión.
- Cerro de Pasco Copper Corporation, 1948. Lead and zinc deposits of the Cerro de Pasco Corporation in central Peru. 18th International Geological Congress, Great Britain, pp. 154-186.
- Chevalier, A. 2010. The Ticlio porphyry Cu-Au prospect, Morococha district, Peru: geochemistry and evolution of ore-forming fluids. Unpublished Master thesis, University of Geneva, Geneva, 115 pp.
- Eyzaguirre, V.R., Montoya, D.E., Silberman, M.L., Noble, D.C. 1975. Age of igneous activity and mineralization, Morococha district, central Peru. *Econ Geol* 70: 1123-1126.

- Kouzmanov, K., Ovtcharova, M., von Quadt, A., Guillong, M., Spikings, R., Schaltegger, U., Fontboté, L., Rivera, L. 2008. U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints for the timing of magmatism and mineralization in the giant Toromocho porphyry Cu-Mo deposit, central Peru. – In: XIII Geological Congress of Peru, Lima, 2008, [CD-ROM].
- Kouzmanov, K., Chiaradia, M., Fontboté, L., Spangenberg, J.E. 2011. Origin of massive anhydrite bodies in the Morococha district, central Peru: Insights from stable (O, S) and radiogenic (Sr, Nd) isotope geochemistry. In Barra F, Reich M, Campos F, Tornos F Eds. Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA) 11th Biennial Meeting: Antofagasta, Chile, SGA, p. 405–407.
- Petersen, U. 1965. Regional geology and major ore deposits of central Peru. *Econ. Geol.* 60: 407-476.
- Ritterbush, K.A., Rosas, S., Corsetti, F.A., Bottjer, D.B., West, A.J. 2015. Andean sponges reveal long-term benthic ecosystem shifts following the end-Triassic mass extinction. *Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoeco.*, 420: 193-209.
- Rivera, N. y Kobe, H.W. 1983. Evolución geológica del Domo de Yauli. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 72: 159-175.
- Rosas, S., Fontboté, L., Tankard, A. 2007. Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucará Basin, central Peru. *J. of South Am. Earth Sci.* 24: 1-24.
- Rosas, B.S., Ritterbush, K., Bottjer, D. 2014. La Formación Aramachay del Jurásico Inferior en el Centro de Perú: Distribución de Facies, Paleoecología y su Relación con la Formación de Cuerpos Minerales. En XVII Congreso Peruano de Geología (Lima) (4 pp). Lima: Soc. Geol. Perú.
- Spikings, R., Reitsma, M.J., Boekhout, F., Mišković, A., Ulianov, A., Chiaradia, M., Gerdes, A., Schaltegger, U. 2016. Characterization of Triassic Rifting in Peru and implications for the early disassembly of western Pangaea, *Gondwana Research* 35: 124–143. doi: 10.1016/j.gr.2016.02.008
- Terrones, A.J. 1949. La estratigrafía del distrito minero de Morococha. *Soc. Geol. Perú. Vol. Jub. Parte II*: 1-15.