

페루 꾸스코 남서부 꼬따밤바-아뿌리막 프로젝트의 광화작용

Mineralization in the Cotabambas-Apurimac Project, Southwest of Cuzco, Peru

허 철 호(Chul Ho Heo)¹ · 김 의 준(Eui Jun Kim)^{2,*}

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부 해외광물자원연구실
(Overseas Mineral Resources Department, Mineral Resources Research Division,
Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea)
²한국지질자원연구원 광물자원연구본부 국내/북한자원연구실
(Domestic/North Korea Mineral Resources Department, Mineral Resources Research Division,
Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea)

서 론

페루 꼬따밤바(Cotabamba) 반암 동-금광상은 리마에서 남동방향으로 약 600 km 떨어진 꼬따밤바시 인근 해발 3,400 m와 3,800 m 사이에 위치하고 있다. 꼬따밤바 탐광지역은 해발 3,200~3,800 m의 아뿌리막(Apurimac) 내 꼬따밤바 지구에서 서쪽으로 약 1 km 떨어진 지역에 위치한다. 광화대의 중심지는 8,480,500 N와 785,500 E (UTM좌표) 상에 놓여있다. 꼬따밤바 프로젝트는 총 면적 9,900 헥타르 내에 11개의 광구를 포함한다(그림 1, 2).

꼬따밤바 지역의 광물자원탐사는 소규모 광상을 대상으로 단속적으로 이루어진 바 있다(Sutcliffe, 1994; Neyra, 1995). 꼬따밤바 지역은 1994년 아나콘다 페루(Anaconda Peru)에 의해서 초기 예비 지질조사 및 지구화학 탐사가 이루어졌으며, 1996년 이를 바탕으로 탐광시추가 이루어졌다. 탐광시추에 의해 고품위 동 광화작용이 발견되었다(Zárate, 1996).

본 기술정보는 페루 꾸스코 남동부 꼬따밤바 지역에 부존하고 있는 꼬따밤바-아뿌리막(Cotabambas-Apurimac) 탐광지역을 방문하여 지질광상 조사를 실시한 결과이며, 이 조사결과는 본 역의 지질-자원 정보해석을 통한 광화대 부존지 예측 및

유망광화대 선정에 활용될 것으로 사료된다.

지 질

꼬따밤바는 페루 남부지역의 중기 에오세에서 전기 올리고세의 약 300 km 연장을 보이는 안다우아일라스-야우리(Andahuylas-Yauri) 벨트 내에 위치하고 있으며, 주로 자철석이 우세한 동 스키르트로 유명하다(Bellido *et al.*, 1972; Santa Cruz *et al.*, 1979). 그러나 최근 Perelló *et al.* (2002, 2003)에 의해서 반암형 광화작용이 보고되었다. 꼬따밤바 지역의 광역적인 지질은 Carlotto (1998)과 Perelló *et al.* (2002, 2003)에 의해 기술되어 있으며, 후자에 의해서 광화작용에 관한 충분한 토의가 이루어졌다. 대규모로 산출되는 다상의 저반은 중생대와 신생대에 해당하는 해양 및 대륙성 퇴적암과 화산암층을 관입하고 있다. 이들은 쥬라기 유라(Yura)층의 쇄설암, 백악기 페로밤바(Ferrobamba)층의 탄산염암, 팔레오세 길께(Quilque)와 칠까(Chilca)층으로 호성기원의 암석들로 구성되어 있으며, 백악기 탄산염암층은 주로 스키르 광화작용이 수반된다. 신생대 암석들은 안타(Anta)층의 안산암질 화산암과 퇴적암, 에오세에서 초기 올리고세의 산 제로니모(San Jerónimo)층의 적색층들로 구성되어 있다 (Carlotto, 1998; Perelló *et al.*, 2003).

*교신저자: euijun.kim@kigam.re.kr

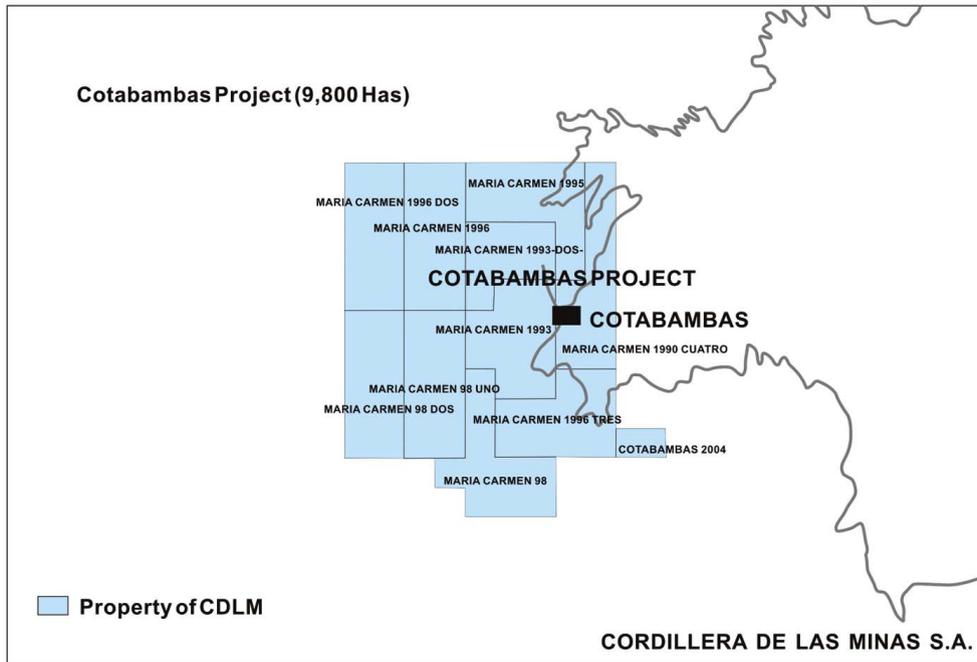


Fig. 1. Mining concession map of Cotabambas prospect.



Fig. 2. Panoramic view of Cotabambas prospect.

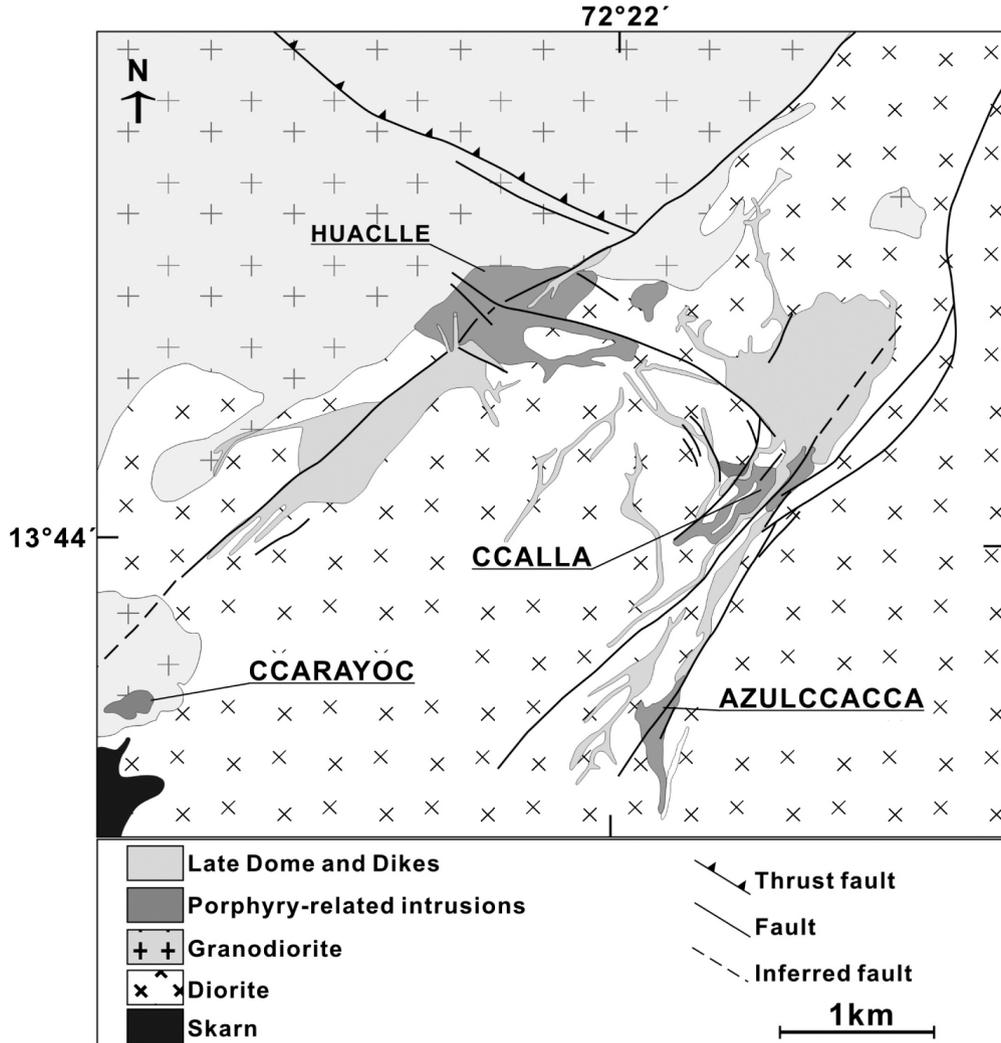


Fig. 3. Geologic map of Cotabambas prospect area modified from Perello *et al.* (2004).

안다우아일라스-야우리(Andahuaylas-Yauri) 저반은 초기에 발달한 염기성암인 반려암과 트락톨라이트(troctolite), 저반의 상당 부분을 차지하는 중성질의 몬조섬록암, 석영섬록암, 화강섬록암으로 구성되어 있으며, 불연속적으로 300 km 이상 노출되어 있다. 최후기 암석들로는 주로 석영안산암질 암석들이 우세하며, 국부적으로 반암형 광화작용을 수반한다. 저반을 구성하는 암석들의 연대는 48~32 Ma에 해당되며, 초기의 염기성 암석들과 상대적으로 후기 암석들의 연대는 48~43 Ma와 40~32 Ma로 구분되어진다(Carlotto, 1998; Perelló *et al.*, 2003).

이들 연대는 중기 에오세에서 초기 올리고세에 발달한 안파(Anta)층과 산 제로니모(San Jerónimo)층군의 암석들과 일치하며, 안파(Anta)층의 안산암과 역암은 산 제로니모(San Jerónimo)층군의 적색 암석들과 대비된다(Carlotto, 1998; Perelló *et al.*, 2003).

꼬따밤바 지역은 고각의 역단층과 주향이동 단층인 북서방향의 두 개의 단층계가 발달되어 있다. 이러한 구조들은 고생대 심성 기저암을 아방카이(Abancay) 지역을 덮고 있는 보다 젊은 층들의 상부에 놓이게 하였으며, 동일 저반의 젊은 관입암 혹은 안파(Anta)층의 최상부에 안다우아일라스-야



Fig. 4. Copper oxide zone observed in drill core (139.55 m).

우리(Andahuaylas-Yauri) 저반의 심부 염기성암석들을 놓이게 하였다(Perelló *et al.*, 2003). 남동방향으로 연장하는 이들 구조들은 꼬따밤바로부터 대략 300 km의 연장성을 갖는 주요 습곡 및 쓰러스트와 수반되어진 것으로 해석되고 있다(Jaillard and Santander, 1992).

이러한 주요 단층계에 의해 한정되는 지역에서 안따(Anta)층과 산 제로니모(San Jerónimo)층군 내에 동시성 광상들이 배대되었으며, 잉카 조산운동과 수반된 강한 광역적 용기 및 침식기간 동안 분지의 형성과 단층들이 발달한 것으로 해석된다(Perelló *et al.*, 2003).

꼬따밤바 반상화강암류는 주로 섬록암과 화강섬록암 조성의 두 심성암체로 구성되며, 안산암과 미섬록암질의 수많은 암맥 및 암주가 함께 나타난다. 이들은 모두 안다우아일라스-야우리(Andahuaylas-Yauri) 저반에 해당된다(Perelló *et al.*, 2002; 2003). 섬록암은 암회색을 띠며, 전체적으로 mesocumulate 조직으로 정의되는 입상의 칼슘 장석과 철질광물들로 구성된 세립 내지 중립의 반자형 비등립질 조직을 보인다. 철질광물로는 흑운모, 각섬석 및 소량의

휘석이 산출되며, 부광물로는 인회석, 티탄철석 및 저어콘이 산출된다. 섬록암체는 석영 섬록암, 토날라이트 및 몬조섬록암을 포함한다. 미섬록암, 안산암질 암주 및 암맥들은 조성면에서 주 섬록암체와 유사하나, 입자 크기와 조직에서 차이를 보인다. 화강섬록암은 담회색으로 석영과 K-장석으로 구성된 석기 내에 중간 조성의 사장석과 거정의 각섬석 반정을 갖는 약간의 반상조직을 보인다. 몬조화강암 또한 인지된다.

꼬따밤바 반상화강암 복합체는 크게 짜야(Ccalla), 아줄까짜(Azulccacca), 와끄예(Huaclle) 및 짜라욕(Ccarayoc) 화강암 복합체와 보다 작은 규모의 꼬짜빠따 북부(Ccochapata Norte), 와끄예 동부(Huaclle Este) 및 짜야 남부(Ccalla Sur) 복합체로 구성된다. 이들 모든 복합체는 구조적으로 규제되어 있으며, 중성질의 다상 반암으로 산출된다(그림 3).

광 상

짜야(Ccalla) 및 아줄까짜(Azulccacca) 지역의 동-급광화작용은 크게 상부 산화대와 하부 초생 황화



Fig. 5. Photographs showing the quartz-chalcopyrite veins infilling the fractures from the Ccalla porphyry.

물 광화대로 세분된다. 불규칙한 상부 산화대는 최대 약 150 m의 층후로 발달하는 것을 시추코어상에 관찰하였다(그림 4). 산출되는 동광물로는 주로 크리소콜라(chrysocolla), 공작석(malachite), 네오토사이트(neotocite)와 소량의 침철석질 및 자로사이트질 갈철석이 산출된다. 후생 황화물 광화대는 불규칙하게 구조규제된 블랑켓(blanket) 형태로 대략 20 m의 층후로 발달하고 있으며, 주요 광석광물로는 황동석과 코벨라이트(covellite)가 산출된다(그림 5). 하부 후생 황화물 광화대는 다상의 망상세맥군과 다방향으로 발달하는 센티미터 폭을 갖는 A, B, 및 M 유형의 세맥들의 발달이 우세하며(그림 6, 7), 반암과 섬록암 주변 암석들은 K-변질작용을 받았다. 동-금광화작용을 수반하는 석영맥들은 급격한 경사를 보이며, 이들 세맥들은 형태와 조성 및 그 분포가 다양하다. 광물 조합에 따라서 석영-자철석, 석영-자철석-황동석, 석영-자철석-황동석-반동석, 석영-자철석-황동석-(황철석), 석영-황동석-황철석, 석영-황철석, 황동석-반동석-자철석 유형으로 세분된다.

금의 산출은 주로 동과 밀접한 관련성을 가지며,

주로 황동석과 반동석 내에 포유물(<0.05 mm)의 형태로 산출된다. 캐나다 파노로(Panoro) 광물사가 보고한 광종별 품위 및 매장량은 동 0.68%, 금 0.38 g/t으로, 확정매장량 114 MT이다. 또한 추가 시추 시 자원량이 추가될 것으로 사료된다.

방연석과 섬아연석을 주로 하는 연-아연 광화작용은 꼬짜빠따(Ccochapata) 돔 인근의 짜야(Ccalla) 지역에서 산출된다. 이 광화작용은 밀리미터 폭을 갖는 수개조의 석영-방해석맥과 공간적 및 성인적 관련성을 갖는 것으로 보이며, 견운모 변질작용이 수반된다. 석영과 방해석맥은 빗살구조(comb texture)가 잘 관찰된다. 공극들은 주로 방연석, 섬아연석, 황동석 등으로 충전되어 있으며, 일부는 경석고와 석고가 함께 산출된다. 이들 세맥들은 단층대에서 산출하는 꼬짜빠따(Ccochapata) 돔의 후기 석영안산암질 암맥 내에 배태한다. 연-아연광화작용을 수반하는 세맥들은 전체 시스템의 최후기에 발달하는 저온성 변질작용 및 광화작용으로 이해된다. 대체적으로 금속의 함량은 낮으며, 수 m 구간에서 연과 아연의 함량이 0.1% 이상의 값을 갖는 지역이 있다.

꼬따밤바 지역에서 휘수연석의 산출은 드물다.



Fig. 6. Photographs showing magnetite-bearing M type vein from the Ccalla porphyry.



Fig. 7. Photographs showing the B type vein from the Ccalla porphyry. The quartz-chalcopyrite vein is characterized by sulfides along center lines with encompassing quartz.

짜야(Ccalla)와 아줄까짜(Azulccacca) 지역에서 고령토 변질작용과 견운모 변질작용을 수반하는 지역에서 수개의 함 휘수연 세맥들이 관찰되지만, 이들의 분포는 상당히 불량하다. 휘수연의 품위는 0.01% 이하로 비교적 낮은 편이다.

요 약

광역적인 광상구의 관점에서, 꼬따밤바(Cotabamba) 지역의 광화작용은 안다우아일라스-야우리(Andahuaylas-Yauri) 벨트에서 나타나는 반암형 및 이와 수반되는 스키르 광상의 형성 연대와 일치하는 것으로 사료된다(Bonhomme and Carlier, 1990; Perelló *et al.*, 2002; 2003). 이러한 시기는 남부 페루에서 에오세 중기에서 초기 올리고세 시기에 광역적으로 활발한 광상구의 형성을 설명할 수 있다(Perelló *et al.*, 2003).

이전 연구(e.g., Santa Cruz *et al.*, 1979)와 달리, 이 벨트는 자철석이 부화된 스키르형의 동광화작용 뿐만 아니라 수많은 반암형 및 이와 수반되는 스키르광상을 포함하고 있다. 로스 찬가스(Los Chancas) (Corrales, 2001), 안따빠까이(Antapaccay) (Jones *et al.*, 2000; Fierro *et al.*, 2002), 꼬따밤바스(Cotabambas) (Perelló *et al.*, 2002)가 대표적이다. 추가적으로, 이 벨트 내에서 반암형 광상과 산출지는 동, 금, 몰리브덴 광화작용으로 이어지는 하나의 스펙트럼을 구성한다. 꼬따밤바(Cotabambas)와 안따빠까이(Antapaccay)의 동-금, 로스 찬가스(Los Chancas)의 동-몰리브덴, 위니꼬차(Winicocha)와 모로사이와스(Morosayhuas)의 동이 결핍된 금광상이 대표적인 예이다. 게다가, 띠따야(Tintaya)의 차부카(Chabuca)와 꼬로코와이코(Coroccohuayco) 광상에서 동-금-(몰리브덴) 광화작용은 스키르와 저품위 반암동을 수반한다(Fierro *et al.*, 1997; Perelló *et al.*, 2003).

저반의 정치, 반암형 변질작용 및 광화작용, 안따(Anta)층과 산 제로니모(San Jerónimo) 분지에서 퇴적층의 형성은 에오세 중기에서 초기 올리고세 기간에 이르는 동일 시기로 사료된다(Perelló *et al.*, 2003).

꼬따밤바 지역의 광화작용은 전형적인 반암형 동-금광상에 해당하며, 현재 전세계적으로 보고된 칠레의 엘 살바도르(El Salvador) 지역의 라 포르투나(La Fortuna) (Paleczek and Cáceres, 2003), 에스빠란자(Esperanza) (Perelló *et al.*, 2003; 2004)와 아르헨티나 아구아 리카(Agua Rica) (Perelló *et al.*,

1998), 페루의 미나스 콩가(Minas Conga) (Llosa *et al.*, 2000), 안따빠까이(Antapaccay) (Jones *et al.*, 2000; Fierro *et al.*, 2002), 로스 찬가스(Los Chancas) (Corrales, 2001) 등과 유사하다. 칠레의 대표적 예는 칠레 북부의 후기 에오세에서 초기 올리고세의 반암동 벨트에 해당되며, 안다우아일라스-야우리(Andahuaylas-Yauri) 광화작용은 이들로부터 페루까지 연장되는 것으로 이해된다(Perelló *et al.*, 2003). 꼬따밤바 반암형 광상은 초기 단계의 양기석, 각섬석, 휘석의 산출과 칼슘 및 칼륨-칼슘 변질작용 및 동-금광화작용이 수반되는 점에서, 푸에토리코의 따나마(Tanamá) (Cox, 1985)와 캐나다의 아일랜드 카파(Island Copper) (Clark and Arancibia, 1995) 및 수많은 다른 광상들과 유사성을 갖는 것으로 사료된다.

꼬따밤바(Cotabambas)지역은 짜야(Ccalla), 아줄까짜(Azulccacca), 와끄예(Huacile), 짜라옥(Ccarayoc)의 4개 주요 반암계로 구성되어 있다. 광화작용은 반암 동-금 유형이며, 광역적인 안다우아일라스-야우리(Andahuaylas-Yauri) 저반을 구성하고 있는 섬록암 및 화강섬록암을 후기에 관입한 화강섬록암질 내지 석영몬조섬록암질 조성의 암주 및 암맥상의 반암질 관입체와 관련되어 있다. 꼬따밤바 반암동 군집은 전 세계에 분포하는 반암동-금광상의 전형적인 특징을 보여주고 있다. 유사한 점들은 다음과 같다. (1) >0.3 g/t의 평균 금 품위, (2) 초기 단계 칼륨 변질작용의 중요한 요소인 풍부한 열수기원 자철석, (3) 칼륨-칼슘 변질작용을 정의하는 흑운모를 수반한 열수기원 각섬석 및 휘석의 존재, (4) 동과 금품위의 유사성, (5) 함동 황화물 내에 미립의 포유물로서 금 산출. 또한, 동과 금의 함량은 석영맥의 밀집도와 관계가 있는 것으로 보고되고 있다. 캐나다 파노로 광물사가 보고한 광종별 품위와 매장량은 동 0.68%, 금 0.38 g/t, 확정매장량 114 MT으로, 추가 시추탐사시 자원량이 추가될 것으로 사료된다.

캐나다의 파노로(Panoro) 광물사가 보유하고 있는 본 프로젝트는 최근 프로젝트내의 꼬차빠따(Cochapata) 지역주민들과의 사회문제가 원만히 해결되어 한국을 포함한 외국투자자들의 참여를 적극적으로 요청하고 있는 실정이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 해외 광물자원 탐사 및 부존 잠재성 평가(10-1121)과제에서

지원되었습니다.

참고문헌

- Bellido, E., Girard, D., and Paredes, J. (1972) Mapa metalogenico del Peru, 1:2,500,000. Lima, Servicio de Geologia y Minería.
- Bonhomme, M.G. and Carlier, G. (1990) Relations entre magmatisme et mineralisations dans le Batholite d'Andahuylas-Yauri (Sud Peru): Données géochronologiques (ext. abs). In: International Symposium on Andean Geodynamics, 2nd, Grenoble, Extended Abstracts, 329-331.
- Carlotto, V. (1998) Evolution Andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13~16°S) Peru: Enregistrement sédimentaire, chronologie, controles paleogeographiques, evolution cinématique. Ph.D. thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 159p.
- Clark, A.H. and Arancibia, O.N. (1995) The occurrence, paragenesis, and implications of magnetite-rich alteration-mineralization in calc-alkaline porphyry copper deposits. In: Clark, A.H. (ed.), Giant ore deposits II: Controls on the scale of orogenic magmatic-hydrothermal mineralization, Proceedings of the Second Giant Ore Deposits Workshop, 1995, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 511-581.
- Corrales, E. (2001) Proyectos Los Chancas. In: Congreso Internacional de Prospectores, 2nd, ProExplo, 2001, Instituto de Ingenieros de Minas de Peru, Lima, CD-ROM, 9p.
- Cox, D.P. (1985) The Tanama and Helecho porphyry copper deposits and vicinity, Puerto Rico. U.S. Geological Survey Professional Paper 1327, 59p.
- Fierro, J., Zweng, P.L., Gamarra, H., and Garate, G. (1997) Chabuca Este Cu-(Au, Ag) skarn deposit at Tintaya. In: Congreso Peruano de Geologia, 9th, Lima, 1997, Sociedad Geologica del Peru, Resúmenes Extendidos, Volumen Especial 1, 37-39.
- Fierro, J., Jones, B., and Lenzi, G. (2002) Los porfidos de Cu-Au de Antapacay en el distrito mineralizado de Tintaya, Peru. In: Congreso Peruano de Geologia, 11th, Lima, 2002, Sociedad Geologica del Peru, Lima, Resúmenes, 235p.
- Jaillard, F. and Santander, G. (1992) La tectonica polifásica en escamas de la zona de Manazo-Lagunillas (Puno, sur del Peru). Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines (Lima), 21, 37-58.
- Jones, B., Fierro, J., and Lenzi, G. (2000) Antapacay project-geology. In: Seminario Internacional Yacimientos tipo porfido de Cu-Au, Lima, 2000, Facultad de Ingeniería Geologica, Minera y Metalurgica, Promocion de Geologos 2000 II, Resúmenes, 1p.
- Llosa, F., Georgei, J.M., and Veliz, J. (2000) Los porfidos Au-Cu de Minas Conga: Historia del descubrimiento y exploracion entre 1992-1998. In: Primer volumen de monografias de yacimientos minerales peruanos: Historia, exploracion y geologia, Volumen Luis Hochschild, Lima, Instituto de Ingenieros de Minas del Peru, 177-195.
- Neyra, C. (1995) Informe geologico del prospecto Cotabambas. Minera Anaconda Peru S.A., Lima, 20p.
- Paleczek, P. and Cáceres, C. (2003) La Fortuna Cu-Au porphyry deposit, Atacama region, northern Chile. In: Congreso Geologico Chileno, 10th, Concepcion, 2003, CD-ROM, 1p.
- Perelló, J., Rojas, N., Devaux, C., Fava, L., Etchart, E., and Harman, P. (1998) Discovery of the Agua Rica porphyry Cu-Mo-Au deposit, Catamarca province, northwestern Argentina: Part II. Geology. In: Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits, A global perspective, Adelaide, Australian Mineral Foundation, 117-132.
- Perelló, J., Neyra, C., Zarate, A., Posso, H., Ramos, P., Martini, R., Fuster, N., Muhr, R., and Caballero, A. (2002) Porphyry Cu-Au mineralization at Cotabambas, Cuzco region, Peru. In: Congreso Peruano de Geologia, 11th, Lima, 2001, Sociedad Geologica del Peru, Resúmenes, 242p.
- Perelló, J., Carlotto, V., Zarate, A., Ramos, P., Posso, H., Neyra, C., Caballero, A., Fuster, N., and Muhr, R. (2003) Porphyry-style alteration and mineralization of the middle Eocene to early Oligocene Andahuylas-Yauri belt, Cuzco region, Peru. Econ. Geol., 98, 1575-1605.
- Perelló, J., Neyra, C., Posso, H., Zarate, A., Ramos, P., Caballero, A., Martini, R., Fuster, N., and Muhr, R. (2004) Cotabambas: Late Eocene porphyry copper-gold mineralization, southwest of Cuzco, Peru. Society of Economic Geologists, 11, 213-230.
- Santa Cruz, S., Guerrero, T., Castilla, F., Caro, E., and Candiotti, H. (1979) Geologia de yacimientos de cobre en skarn en la region sur-oriental del Peru. Boletín de la Sociedad Geologica del Peru, 60, 153-174.
- Sutcliffe, J. (1994) Preliminary report on the Cotabambas copper prospect, Cuzco area. Anaconda Chile S.A., Lima, 5p.
- Zárate, A. (1996) Primera campana de perforacion 1996. Proyecto Cotabambas, Apurimac, Peru. Minera Anaconda Peru S.A., Lima, 16p.

접수일(2010년 6월 22일), 수정일(1차 : 2010년 9월 5일),
계재확정일(2010년 9월 9일)