

페루의 연-아연: 공급동향 및 자원량

Jorge Acosta Ale¹ · Alexander Santisteban¹ · Dina Huanacuni¹ · 양석준² · 허철호^{3,4*}

¹페루 지질광업제련연구소(INGEMMET), ²한국지질자원연구원 DMR 융합연구단,

³한국지질자원연구원 광물자원연구본부 광물자원연구실, ⁴과학기술연합대학원대학교 광물지하수자원학과

Pb and Zn in Peru: Supply Trend and Resource Amounts

Jorge Acosta Ale¹, Alexander Santisteban¹, Dina Huanacuni¹, Seok-Jun Yang² and Chul-Ho Heo^{3*}

¹Dirección De Recursos Minerales Y Energéticos, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Peru

²Convergence Research Center for Development of Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea

³Mineral Resources Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea

⁴Department of Mineral and Groundwater Resources, University of Science and Technology(UST), Daejeon 34113, Korea

(Received: 26 February 2016 / Accepted: 18 March 2016)

Until 2014, 14 million tonnes of Pb (metal based) and 41 million tonnes of Zn (metal based) were produced in Peru. Representative two Pb-Zn metallogenic belts were known in Peru. They are lower Cretaceous-Paleocene VMS Cu-Zn-Au metallogenic belt and Miocene epithermal, skarn, replacement & polymetallic vein metallogenic belt. If four new mining projects were launched and additional three mining projects were prepared until 2017, it seems possible to produce 0.34 million tonnes of Pb and 1.5 million tonnes of Zn additionally. In Pb-Zn metallogenic belt in Peru, potential Zn amounts range from 9 to 6000 million tonnes with 0.1 to 14% Zn and potential Pb amounts range from 5 to 2800 million tonnes with 0.04 to 5.3% Pb.

Key words : Pb, Zn, Peru

2014년까지, 페루에서는 천4백만톤의 연(금속기준)과 4천백만톤의 아연(금속기준)이 생산된 것으로 집계되었다. 페루에서는 연과 아연 관련하여 대표적인 두 개의 금속광화대가 알려져 있다. 첫 번째 금속광화대는 백악기 전기-효신세 화산성 괴상 황화물 Cu-Zn-Au 광화대이며, 두 번째 금속광화대는 중신세 천열수, 스카른, 교대 및 다금속 맥상 광화대이다. 2017년까지 4개의 신규 채광 프로젝트가 시작되고 이어서 3개의 추가 프로젝트가 준비된다면, 34만톤의 연과 150만톤의 아연이 추가적으로 생산되는 것이 가능할 것으로 사료된다. 페루의 연-아연 금속광화대에서는, 아연의 부존량 및 품위는 각각 9~6000 백만톤, 0.1~14% Zn이며, 연의 부존량 및 품위는 각각 5~2800 백만톤, 0.04~5.3% Zn인 것으로 사료된다.

주요어 : 연, 아연, 페루

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited.

*Corresponding author: chheo@kigam.re.kr

1. 서 론

페루의 연과 아연 광상은 백악기 전기-효신세 및 중신세의 금속광상구에 부존되어 있다. 이들 광상구에서는 역사적으로 연(금속기준) 1천 4백만 톤, 아연(금속기준) 4천 1백만 톤이 각각 생산되었다. 2013년 연과 아연의 생산량은 각각 26만 6천 톤, 140만 톤이었고, 2014년에는 연 27만 8천 톤, 아연 130만 톤을 기록했다. 이들 광상구의 연과 아연 부존량은 각각 2천 2백만 톤, 5천 2백만 톤으로 추정되고 있다. 2017년까지 4개의 신규 프로젝트가 수행될 예정이며, 3개의 추가적인 프로젝트가 계획되어 있는데, 이를 통해 2017년 말에는 연의 경우 최대 34만톤, 아연의 경우 최대 148만 톤 가량으로 생산량이 증대할 것으로 기대되고 있다.

국제 연 및 아연 연구 그룹의 조사에 따르면(International Lead and Zinc Study Group, <http://www.ilzsg.org/static/home.aspx>), 2013년 연 및 아연 생산량은 각각 1천 320만 톤과 540만 톤이었으며 2014년에는 각각 1%, 2.4%가 증가한 것으로 조사되었다. 가격 변동성이 심한 금이나 동과는 대조적으로 연과 아연의 가격은 2008년 이후로 각각 2100달러, 2000달러의 톤당 가격을 유지해오고 있으며, 중국과 미

국 등에서 지속적인 수요가 있는 만큼 앞으로도 큰 가격 변동은 없을 것으로 예상된다.

본 해설은 페루의 연과 아연의 자원부존 정보를 제공함이 목적이며, 세부적으로 보면 연 및 아연광상 분포, 매장량, 자원량, 생산 현황 등을 언급할 예정이다. 또한, 해당 금속이 부존하는 금속광화대의 광상유형들을 고찰할 것이며, 광상생성과 관련된 역사적 자료와 자원 정보 및 광업 프로젝트 분석을 통해 향후 5년간의 페루 연과 아연의 광업 동향을 소개하고자 한다.

2. 페루 연-아연 광상의 유형 및 시공간적 부존 현황

연과 아연 광상은 주로 천열수광상, 스카른광상, 교대광상, 다금속 맥상광상, 화산성 괴상 황화물광상으로 구성되어 있다(Fig. 1). 이 광상들은 주로 두 개의 금속광화대를 따라 분포되어 있다. 첫 번째 금속광화대는 백악기 전기-효신세의 대규모 화산성 괴상 황화물 Cu-Zn-Au 광상으로 구성되어 있으며, 두 번째 금속광화대는 중신세 천열수광상, 스카른광상, 교대광상, 다금속 맥상광상으로 구성되어 있다(Acosta, 2015; Acosta *et al.*, 2015).

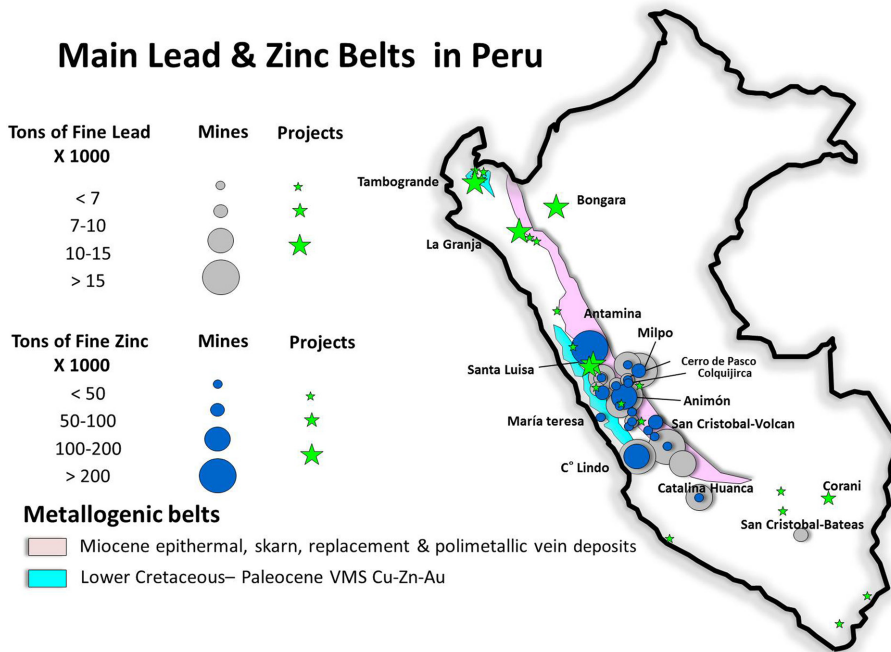


Fig. 1. Main lead and zinc belts in Peru.

2.1. 백악기 전기-효신세 연-아연-동 금속광화대

본 금속광화대는 두 개의 분절로 이루어져 있으며, 페루 북서부 란코네스(Lancones) 분지 중앙부와 리베르타드(Libertad) 및 이카(Ica) 사이의 옥시덴탈 산맥 서쪽(남위 9°-13°)에 위치한다. 알비아노-세노마니아노(Albiano-Cenomaniano) 화산활동에 수반된 퇴적물에 의해 생성된 란코네스 분지내 광상은 규장질 칼칼알칼리암 화산암층에 부존한다(Ríos, 2004). 이 광상들은 용기 환경에서 생성된 것으로 해석되고 있다(Tegart *et al.*, 2000; Ríos, 2004; Rodriguez *et al.*, 2008).

본 금속광화대의 대표적인 광상은 엘 파파요(El Papayo), 세로 콜로라도(Cerro Colorado), 포트르바요(Potrobayo) 광상이며, 이들은 북동-남서, 동-서, 북북동-남남서 방향의 소규모 단층들에 의해 규제된 것으로 보고되고 있다. 란코네스 분지내 또 다른 광상으로는 쥘라기 중기-알비안 현무암, 석영조면암 및 소레이이트 질 암석으로 구성된 해저 화산암에 배태된 광화작용으로 석영안산암질 마그마 활동과 관련이 있고, 광화시기는 104 ± 2 Ma이다(Winter *et al.*, 2002; Ríos, 2004). 이 지역의 중요한 구조는 북북동-남남서와 서북서-동남동 방향의 단층들이며, 퇴적광상들은 주로 탐보그란테(Tambogrande)에 위치한다.

리베르타드와 이카 구간은 백악기부터 효신세까지의 시기에 분출된 칼칼알칼리 화산암들의 층서가 특징적이다(Romero, 2007). 이전에는 카스마(Casma) 층군으로 분류되었지만, 오늘날에는 마스트리히티아노-다니아노(Maastrichtiano-Daniano) 층군으로 분류된다(Romero *et al.*, 2008). 이 분지는 대규모 흑광유형(Kuroko type) Pb-Zn-Cu 화산성 황화물을 배태하고 있다. 광화대와 관련이 있는 구조는 타파코차(Tapacocha)와 콘차오-코카차크라(Conchao-Cocachacra) 구조계의 북서-남동방향 단층이다. 퇴적광상들은 마리아 테레사(María Teresa), 아우로라 아우구스타(Aurora Augusta), 레오닐라-그라시엘라(페루바르)(Leonila-Graciela (Perubar)), 세로 린도(Cerro Lindo), 팔마스(Palmas), 발두초(Balducho)에 집중되어 분포하고 있으며, 광화시기는 68~62 Ma로 보고되고 있다.

2.2. 중신세 천열수광상, 스카른광상, 교대광상 및 다금속 맥상 광상

페루 중앙의 옥시덴탈 산맥에 위치하는(남위 5°-14°) 금속광화대는 매우 복잡한 광상형성 기작을 보인다. 본 금속광화대에서는 Cu-Zn, Pb-Ag의 교대광상 및 스카른광상, Cu-Ag-(Au-Pb-Zn), Pb-Zn, Zn-Pb-Ag-Cu 등

의 다금속 천열수 광상이 발달하고 있다. 광화시기는 중신세 24-10 Ma와 10-3 Ma로 구분되며, 우아일리아스 칼리푸이(Huayllillas Calipuy)와 바로소 인페리오르 네그리토스(Barroso inferior Negritos) 화성 활동과 연관되어 있다(Mamani *et al.*, 2010). 이 금속광화대는 오로야-우안카벨리카(Oroya-Huancavelica) 및 세로 데 파스코-아야쿠초(Cerro de Pasco-Ayacucho) 구조계의 북서-남동 또는 남-북 방향의 단층에 의해 제어되었다.

스카른 광상이 가장 집중되어 분포하는 곳은 중신세에 형성된 금속광화대이며, 이 광상들은 관입암들이 트라이아스기-쥘라기 푸카라(Pucará) 층군, 백악기 초기 파리아우안카(Pariahuanca), 출렉(Chulec), 파리아탐보(Pariatambo), 백악기 말 셀레딘(Celendin), 후마샤(Jumasha) 및 에오세 포코밤바(Pocobamba)의 석회암들을 관입하면서 형성되었다.

페루 중앙부(남위 10°30'-11°)에는 세로 데 파스코-아야쿠초(Cerro de Pasco-Ayacucho) 구조계의 남-북 방향 단층계가 발달한다. 이 단층계에 의해 포코밤바(Pocobamba)의 에오세 분지(Ángeles, 1999) 및 세로 데 파스코(Cerro de Pasco)-콜키히르카(Colquijirca)의 화산 중앙부의 형성이 제어되었으며, 이로 인하여 세로 데 파스코(14.5-14.1 Ma, Baumgartner *et al.*, 2006) 및 콜키히르카(10.6-10.8 Ma, Bendezu *et al.*, 2003, 2009)의 다금속 천열수 광화작용이 형성된 것으로 사료된다.

촌타(Chonta), 추린-산마테오(Churín-San Mateo) 및 마라논(Maran) 지역에는 10-5 Ma 시기의 관입암들이 백악기의 석회질 암석을 관입하면서, 접촉 부분에 Cu-Zn 및 Pb-Zn-Ag 교대광상과 스카른 광상을 형성시켰다. 스카른 광상으로는 안타미나(Antamina, 9.75-10.09 Ma, Love *et al.*, 2003), 완살라(Huanzala, 7.7 Ma, Bissig *et al.*, 2006), 파차파키(Pachapaqui), 라우라(Raura, 7.83-10.16 Ma, Romani, 1983), 우아론(Huarón, 7.4 Ma, Noble *et al.*, 1999), 야우리코차(Yauricocha, 7.5 Ma, Giletti *et al.*, 1968; Noble *et al.*, 1999) 등의 광상들이 있으며, Pb-Zn-Ag 교대광상으로는 모로코차(Morococha, 7.3-8.2 Ma, Eyzaguirre *et al.*, 1975), 미나솔리타리아(Mina Solitaria), 산크리스토폴-안다이구아(San Cristóbal-Andaygua, 4.9 Ma, Beuchat, 2003) 등의 광상들이 있다.

한편, 중신세 다금속 천열수광상들은 에오세(39-33 Ma)와 올리고세(31-25 Ma)의 광화작용들과 중첩되어 분포 되기도 한다. 또한, 키카이(Quicay)의 Au-Ag 천

열수광상(37.5-35 Ma; Soler and Bonhomme, 1988; Noble and McKee, 1999)은 푸카라(Pucará) 층군의 트라이아스기 후기-쥬라기 탄산염 층과 접촉한 Pb-Zn-Cu 스카른광상 등과 연관되어 있다. 이와 관련된 광상에는 엘 폴베니르(El Porvenir), 밀포(Milpo), 아타코차(Atacocha, 25.9-29.8 Ma, Soler and Bonhomme, 1988), 라울리토(Raulito), 론도니(Rondoni), 파타쉬미나(Patashmina), 우안카미나(Huancamina) 등이 있다. 또한, 빈초스(Vinchos)의 스카른 광상(23 Ma, Lavado and Farfán, 2008)도 존재한다. 올리고세의 관입암은 Pb-Zn-Cu 광화작용과 관련되어 있으며, K-Ar 방사능 연대 측정 보고에 따르면, Pb-Zn-Cu 퇴적층의 광상생성기는 29-26 Ma 사이일 것으로 추측된다(Soler and Bonhomme, 1988).

3. 페루의 연-아연 생산 역사 및 현황

연(1903-2013)과 아연(1924-2013)의 생산이 시작된 후 지금까지 각각 1천 4백만 톤과 4천 1백만 톤이 생산되었을 것으로 추측된다(Fig. 2, 3). 연과 아연 광산은 주로 페루 중앙부에 집중 분포되어 생산되어 왔으며 관련 기록은 페루 에너지광물부의 공식기록에 의한

것이다.

페루의 최대 연 생산광산은 아니몬(Animon) 광업회사이며, 페루 총 생산량의 11%를 담당한다. 그 뒤를 산 크리스토팔(San Cristobal), 야우리코차(Yauricocha), 세로린도(Cerro Lindo), 밀포(Milpo), 라우라(Raura), 콜키히르카(Colquijirca), 아타코차(Atacocha), 세로 데 파스코(Cerro de Pasco)가 있으며, 페루 전체 연 생산량의 52%를 분담하여 생산하고 있다. 2013년 아연 생산량은 1백4십만 톤이었으며, 최대 아연 생산기업은 안타미나(Antamina)로 페루 총 생산량의 23%인 31만 6천 톤을 생산하였다. 그 외에 세로 린도, 아니몬, 산 크리스토팔, 이사크스, 밀포가 총 생산의 60%를 담당하고 있다. 2014년 연과 아연의 생산량은 각각 27만 8천 톤, 1백 30만 톤으로 보고되고 있다(Fig. 4, 5).

4. 연-아연 가격 변동 및 동-금 가격과의 비교

2008년에 연 가격은 톤당 3,200달러에서 2,600달러로, 아연 가격은 2,100 달러에서 1,900달러로 하락한 바 있다. 그 이래로 2014년까지 연과 아연 값은 안정

Historic Cumulative Lead Production in Peru

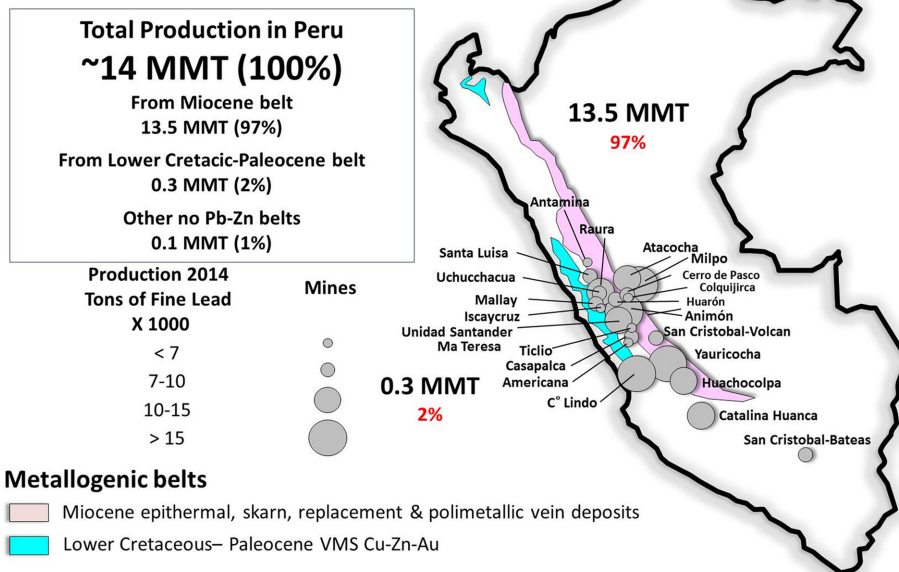


Fig. 2. Historic cumulative lead production in Peru from 1903 to 2014.

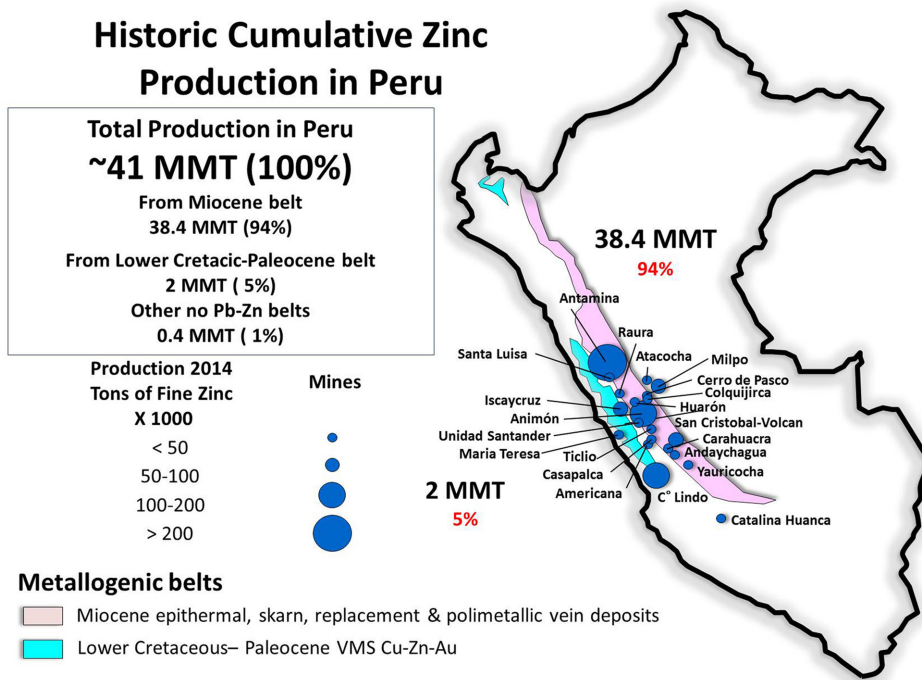
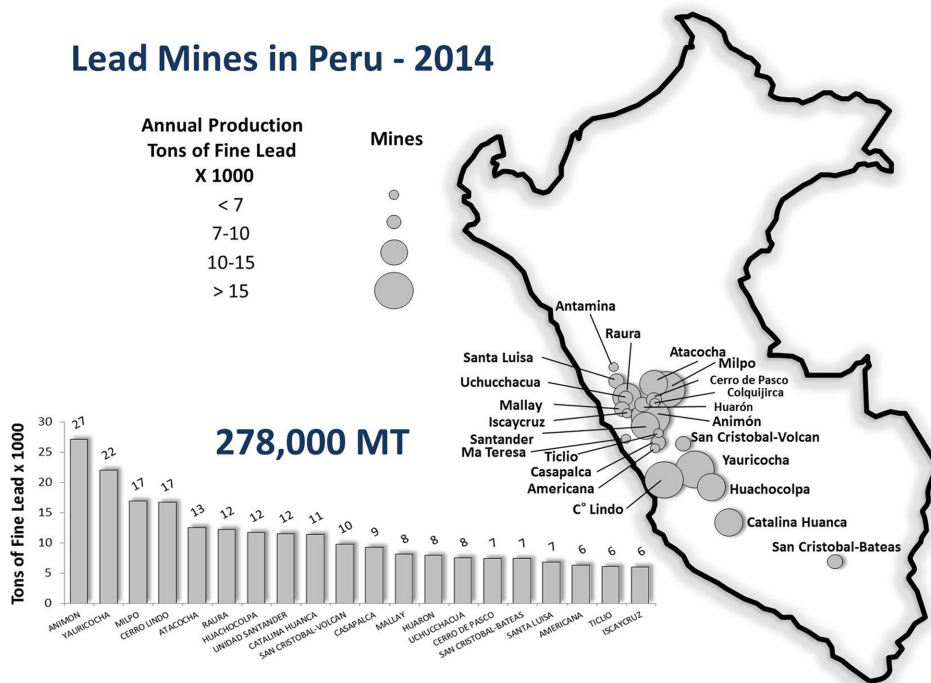

 Fig. 3. Historic cumulative zinc production in Peru from 1903 to 2014 (Acosta *et al.*, 2015).


Fig. 4. Lead mines in Peru (2014).

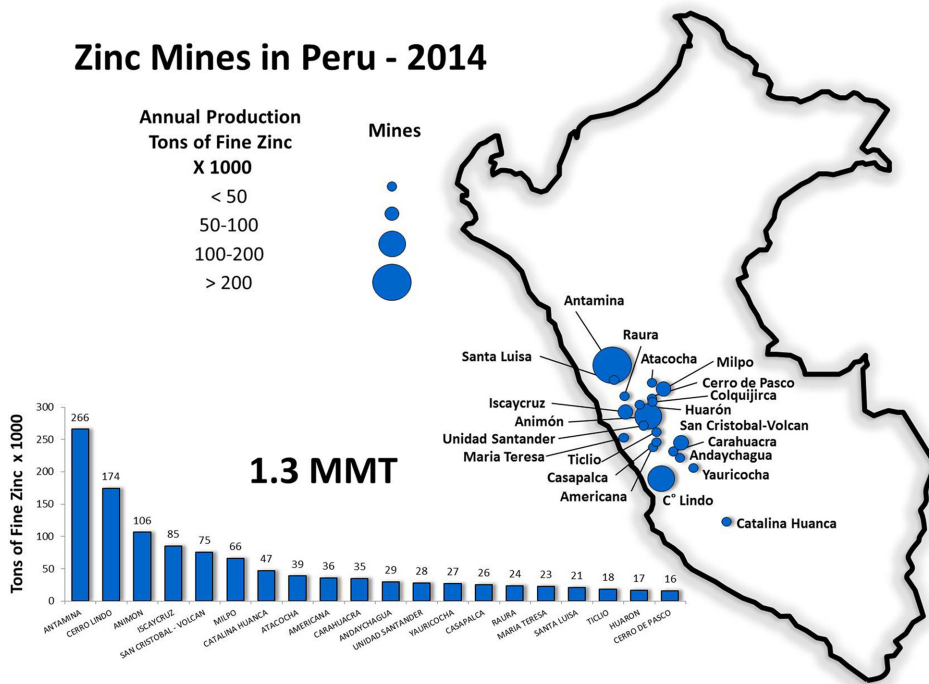


Fig. 5. Zinc mines in Peru (2014).

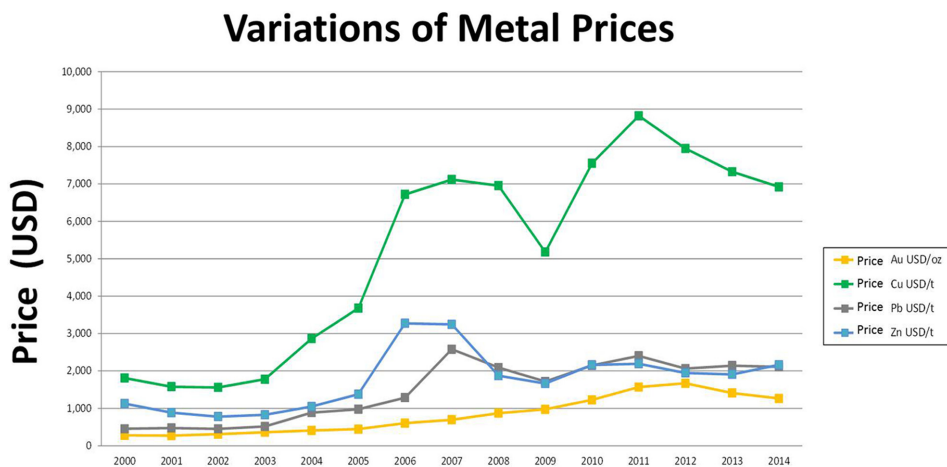


Fig. 6. Variations of metal price from 2000 to 2014 (Central Reserve Bank of Peru).

세를 유지해오고 있다. 최근 7년간 아연 가격의 최대 변동폭은 톤당 500달러였고, 최소치는 톤당 3달러였다. 또한, 연의 경우, 최대 및 최소 변동폭이 각각 톤당 393달러와 31달러였다. 이렇게 연과 아연, 두 광물의 평균 가격은 지금까지 2천 1백달러와 2천달러를 각각 유지해왔다(Fig. 6).

2011년 당시 동의 평균 가격이 마지막으로 하락했으며, 당시 톤당 8,800달러였던 가격이 6,900달러로 떨어진 것이었다. 2009년에는 톤당 5,200달러까지 떨어지기도 했다. 이러한 자료를 통해 우리는 2009년 이래로 연 또는 아연의 가격 변동(각각 톤당 1,900달러, 400달러)보다 동의 가격 변동이 더 컸다는 걸 알 수

있다.

참고적으로 금의 경우, 평균 가격이 2002년 온스당 310달러에서 오르기 시작해 2012년에는 1,700달러를 기록했다. 2013년에는 온스당 1,400달러로 떨어졌고 2014년에는 온스당 1,300달러를 기록했다.

5. 페루의 연 및 아연 부존량 예측

페루의 연과 아연의 자원량은 각각 2천 2백만 톤과 5천 2백만 톤으로 추정되며 특히 중신세 스카른 광상, 교대광상, 다금속 맥상광상에 집중되어 있다(Fig. 7~10).

현재 콜키히르카(Colquijirca), 세로 린도(Cerro Lindo), 우추차쿠아(Uchuchacua) 3개 지역에서 채광작업을 확장하고 있는 것으로 보고되고 있다. 또한, 환경영향평가 승인을 취득한 프로젝트로서 인빅타(Invicta)와 미네라 쇼우신(Minera Shouxin) 두 건이 있으며, 채광작업이 진전된 일라리온(Hilarión)과 악차(Accha) 프로젝트 두 건이 보고되어 있다. 이 중 대다수가 채광 확장개시일이 고지되어 있으며 채광 작업 개시일은 2014년에서 2017년 사이가 될 전망이다. 그

러나, 인빅타와 일라리온의 향후 연·아연 생산 개시일은 정해지지 않았다. 이 두 프로젝트는 채광개시 및 확장이 지연된 상태로 2016년에 시작될 계획으로 알려져 있다.

콜키히르카와 우추차쿠아의 채광작업 확장을 통해 연의 생산량은 2015년에는 1만 9천 톤의 생산량이 증가하여 총 29만 7천 톤이 생산될 것으로 전망되었으며, 2016년에는 세로 린도의 채광작업 확장을 통해 총 30만 톤의 추가 생산이 기대된다. 2017년에는 악차의 생산이 시작되면서 총 34만 톤이 생산될 것으로 예상된다(Fig. 11).

2015년까지 아연의 생산량은 139만 톤에 달할 것으로 기대되는데, 이는 콜키히르카와 우추차쿠아의 채광작업 확장 및 미네라 쇼우신의 생산 시작에 따른 것이다. 2016년에는 세로 린도의 채광작업 확장 결과로 2만 8천 톤이 증가할 것으로 보이고, 2017년에는 악차의 생산 시작과 함께 6만 톤이 추가되어 총 148만 톤이 생산될 수 있을 것으로 예상된다(Fig. 12).

국제 연·아연 연구 그룹이 2013년 발행한 보고서에 당해 세계의 아연 생산량은 1천 3백 2십만 톤이었으며 2014년에는 1%가 증가한 1천 3백 3십만 톤이 생산될

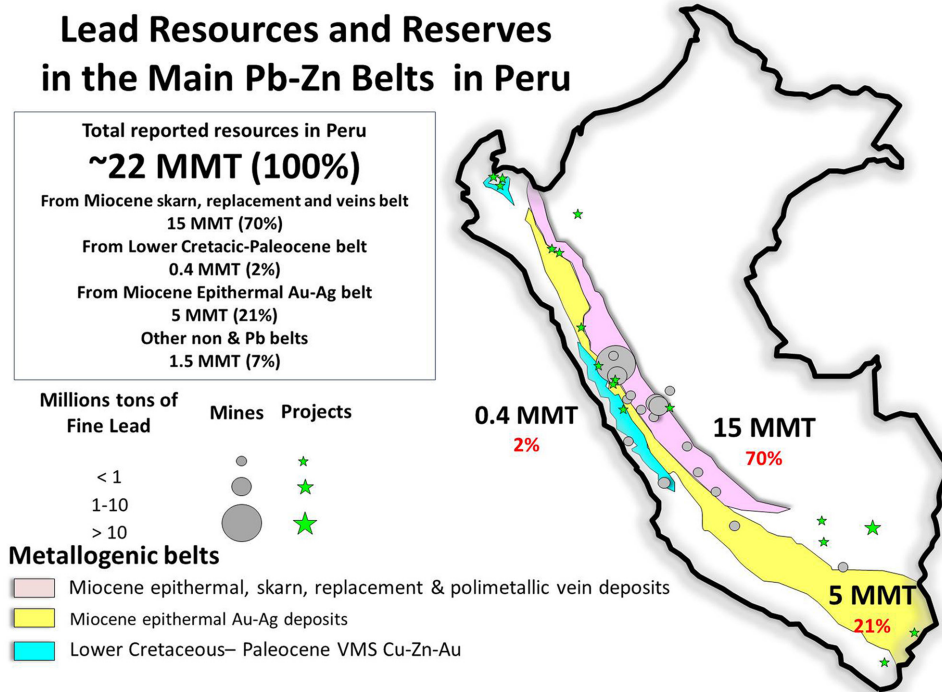


Fig. 7. Lead resources and reserves in the main Pb-Zn belts in Peru.

Main Lead Deposits with Resources and Reserves in Peru (> 500,000 Fine tons)

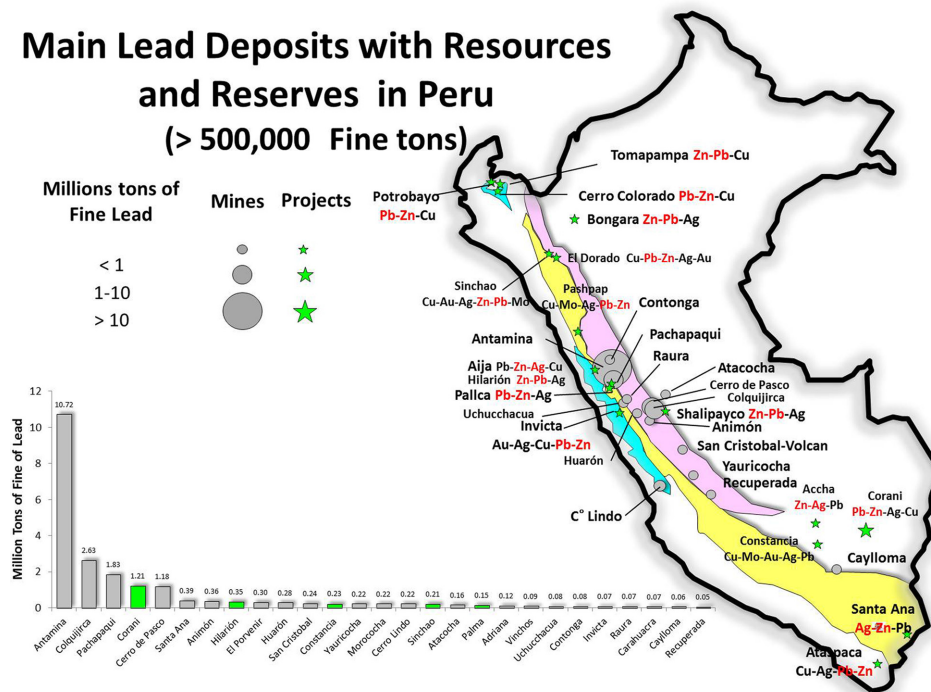


Fig. 8. Main lead deposits with resources and reserves in Peru (>500,000 fine tons).

Zinc Resources and Reserves in the Main Pb-Zn Belts in Peru

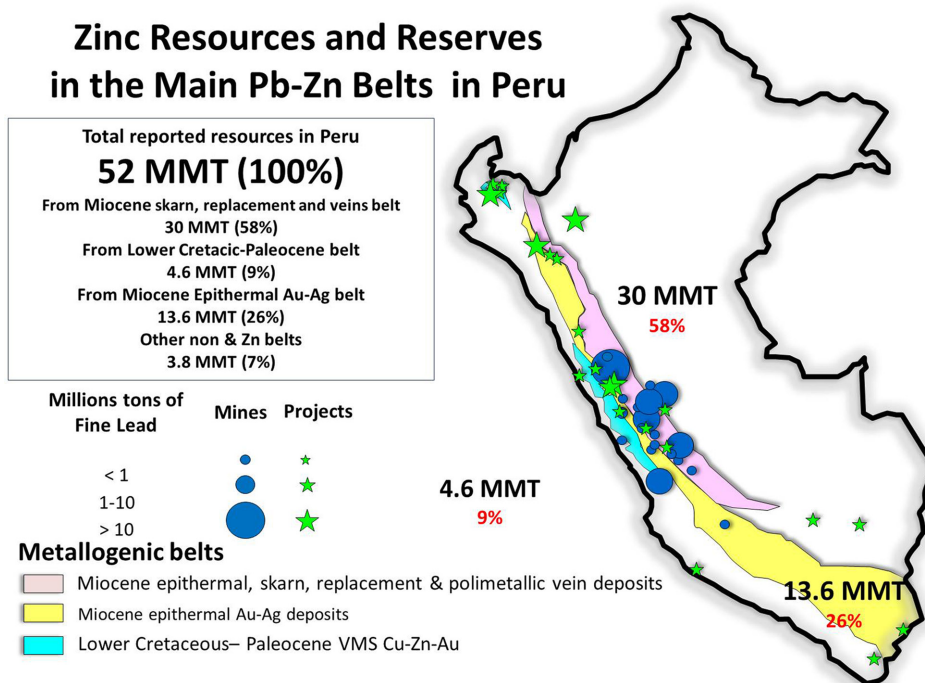


Fig. 9. Zinc resources and reserves in the main Pb-Zn belts in Peru.

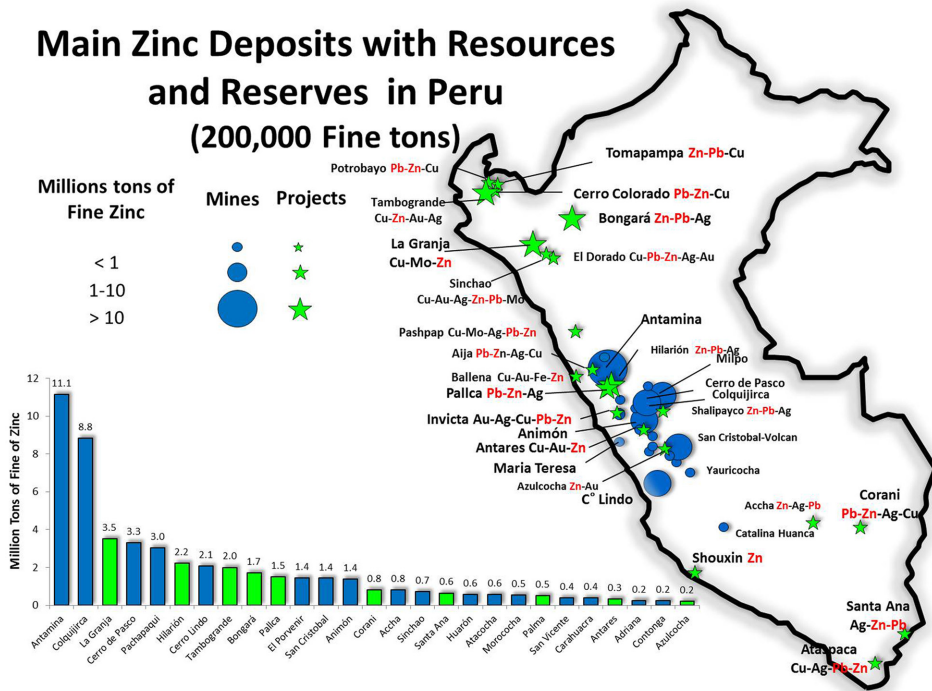


Fig. 10. Main zinc deposits with resources and reserves in Peru (200,000 fine tons).

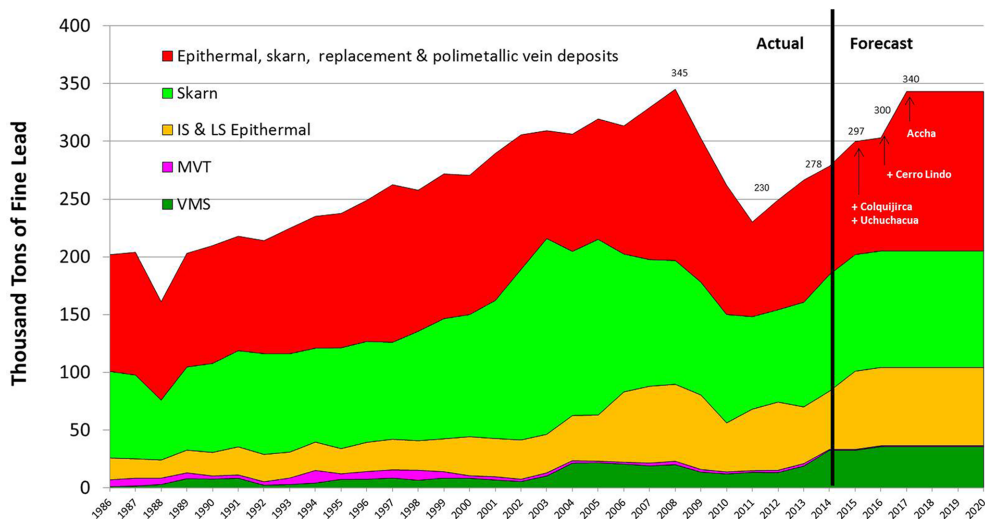


Fig. 11. Peruvian lead production by deposit type.

것으로 나타났다. 또한, 연의 수요에 대해서도 2013년에는 5백 4십만 톤이었으며 2014년에는 2.4%가 증가한 5백 5십 6만 톤이 될 것이라고 예상했다(ILZSG, 2014a, b).

6. 결 론

페루에서 연과 아연은 각각 1천 4백만 톤, 4천 1백만 톤이 생산되었으며, 주로 백악기 초에서 호신세 사

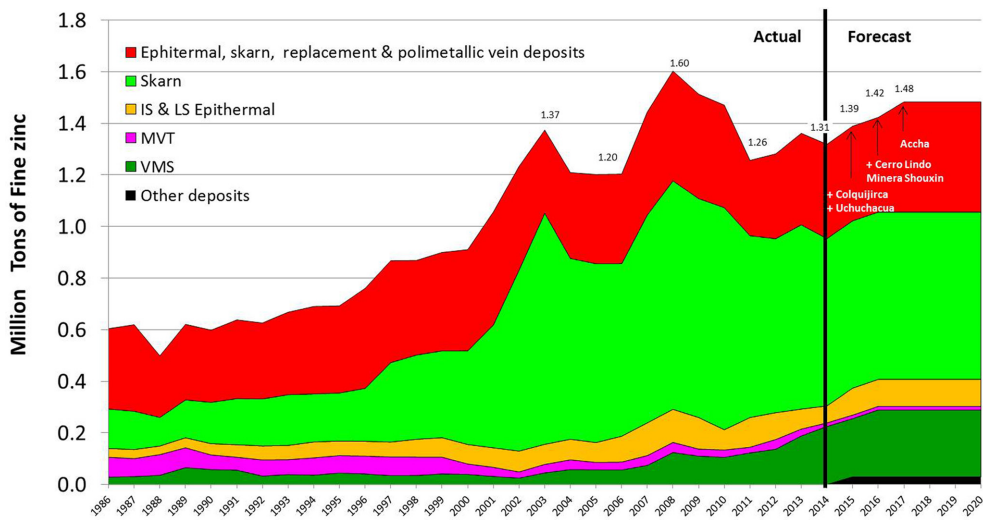


Fig. 12. Peruvian zinc production by deposit type.

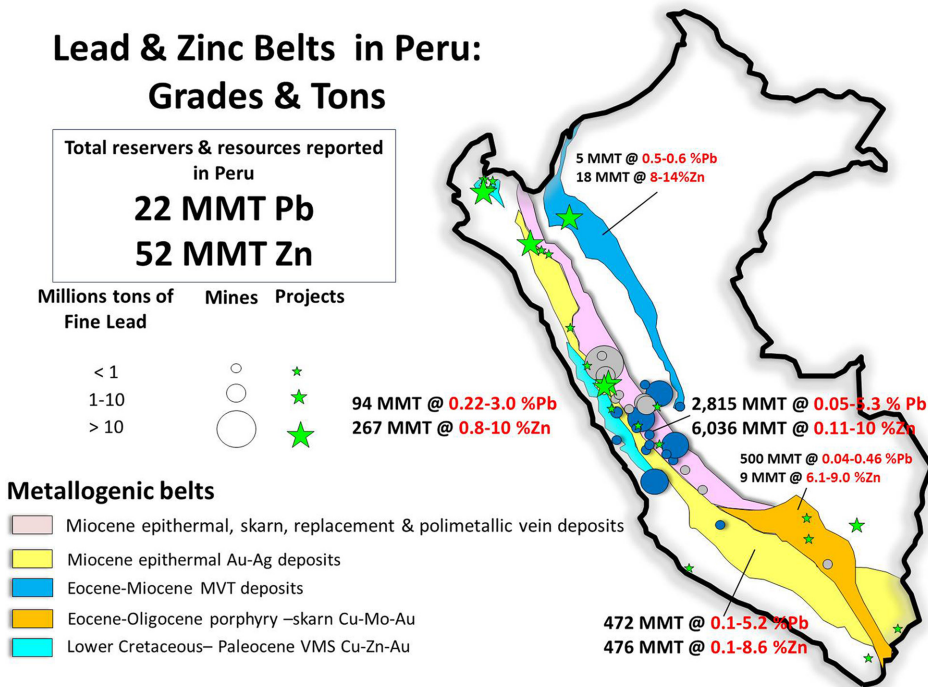


Fig. 13. Lead and zinc belts in Peru: grade and tons.

이의 시기에 형성된 금속광상구에 부존된 교대광상, 스카른광상, 다금속 맥상광상, 퇴적광상들에서 생산되었다. 이들 광상들에 페루의 연과 아연이 다량으로 부존되어 있을 것으로 추정되고 있다. 2017년까지 4개 채광 프로젝트가 시작되고 3개의 채광 작업장이 추가로

확장된다면, 연 34만 톤, 아연 150만 톤을 생산할 수 있을 것으로 사료된다. 페루 연·아연 광상구별 아연의 부존량은 9~6000 백만톤이고 품위는 0.1~14%, 연의 부존량은 5~2800 백만톤이고 품위는 0.04~5.3%이다 (Fig. 13).

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 주요사업인 “해외/북극권 광물자원탐사 및 부존잠재성 평가(16-3217)” 과제에서 지원되었습니다.

References

- Acosta, J. (2015) Tendencias de la Dotación Plomo y Zinc en el Perú. En: Revista Horizonte Minero No 102. Abril 2015, p.49-52.
- Acosta, J., Santisteban, A. and Huanacuni. (2015) Principales Franjas Metalogenéticas y Tendencias de la Dotación Plomo y Zinc en el Perú. En: IX Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores. ProExpo 2015. Presentación, p.35.
- Ángeles, C. (1999) Los sedimentos cenozoicos de Cerro de Pasco: estratigrafía, sedimentación y tectónica. Volumen Jubilar Sociedad Geológica del Perú 5, p.103-118.
- Baumgartner, R., Fontboté, I., Alvarez, H., Page, I., Ovtcharova, M., Spikings, R. and Vennemann, T. (2006) Geochronological, Fluid Inclusion and Isotopic Constraints in the Cerro de Pasco District, Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 13, Lima, 2006. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p.700-703.
- Bendezú, R., Fontboté, L. and Cosca, M. (2003) Relative Age of Cordilleran Base Metal Lode and Replacement Deposits, and High Sulfidation Au-(Ag) Epithermal Mineralization in the Colquijirca Mining District, Central Perú. Mineralium Deposita, v.38, n.6, p.683-694.
- Bendezú, R. and Fontboté, L. (2009) Cordilleran epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) mineralization in the Colquijirca district, central Peru: Deposit-scale mineralogical patterns. Economic Geology, 104: 905-944.
- Beuchat, S. (2003) Geochronological, structural, isotopes and fluid inclusion constrains of the polymetallic Domo de Yauli district, Peru. Universite de Geneve: (Ph.D tesis), Terre & Environnement 41, p. 130.
- Bissig, T., Tosdal, R., Ulrich, T., Friedman, R. and Weis, D. (2006) Petrochemical evolution of intrusions in the central peruvian cordillera occidental and adjacent high-plains: geodynamic and metallogenetic implications. XI Congreso Geológico Chileno. Actas Volumen 2, Geología Económica, p.187-190.
- Eyzaguirre, V.R., Montoya, D.E., Silberman, M.L. and Noble, D.C. (1975) Age of igneous activity and mineralization, Morococha district, central Peru. Economic Geology 70, p.1123-1126.
- Giletti, B.J. and Day, H.W. (1968) Potassium-Argon Ages of Igneous Intrusive Rocks in Peru. The Journal of Geology Nature, v.220, n.5167, p.570-572.
- ILZSG (2014a) <http://www.ilzsg.org/static/statistics.aspx?from=1>
- ILZSG (2014b) <http://www.bnamericas.com/news/metals/global-demand-for-lead-zinc-to-rise-in-2014-and-2015-ilzsg>.
- Lavado, M. and Farfán, C. (2008) Reinterpretación geológica; aspectos geoeconómicos, retos y logros en la exploración de Vinchos. En: Congreso Peruano de Geología, 14o, Lima, 2008 y Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. CD-ROM. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6.
- Love, D.A., Clark, A.H., Ullrich, T.D., Archibald, D.A. and Lee, J.K.W. (2003) 40Ar/39Ar evidence for the age and duration of magmatic-hydrothermal activity in the giant Antamina Cu-Zn skarn deposit, Ancash, north-central Peru: Geological Association of Canada Annual Meeting (Vancouver, B.C.).
- Mamani, M., Navarro, P., Carlotto, V., Acosta, H., Rodríguez, J., Jaimes, F., Santos, A., Rodríguez, R., Chavez, L., Cueva E. y Cereceda, C. Arcos Magmaticos Meso-Cenozoicos del Perú. 2010. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos. Sociedad Geológica del Perú. Pub. Esp. No 9 (2010), Cusco p.563-570.
- Noble, D. and Mckee, E. (1999) The Miocene metallogenic belt of central and northern Perú. Society of Economic Geologists, Special Publication 7, p.155-193.
- Ríos, A. (2004) Estudio del Metalotecto Lancones y su Potencial por Yacimientos Volcanogénicos de Sulfuros Masivos (VMS) - (Piura-Perú). Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, p.224.
- Rodríguez, I., Quispe, J., Sánchez, V., Villarreal, E. and Jaimes, F. (2008) Metalogenia de la cuenca Lancones: noroeste del Perú-sur de Ecuador. En: Congreso Peruano de Geología, 14, Lima, 2008. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 6.
- Romani, M. (1983) Pulsaciones Magmaticas en la alta cordillera occidental entre 10 $\pm$ 30' y 10 $\pm$ 50' mineralogía petrología y geoquímica. Boletín Sociedad Geologica del Peru 72, p.323-337.
- Romero, D. (2007) La cuenca Cretácico superior-Paleoceno del Perú central: un metalotecto para la exploración de SMV, Ejemplo Mina Maria Teresa. Tesis de Maestra, Universidad Politécnica de Madrid, Red DESIR-ALFA, p. 100.
- Romero, D., Quispe, J., Carlotto, V. and Tassinari, C. (2008) Los depósitos de la cuenca Maastrichtiano-Daniano: relación con los yacimientos tipo sulfuros masivos volcanogénicos de Pb-Zn-Cu; Perú central. En: Congreso Peruano de Geología, 14, Lima, 2008. CD-ROM. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 6.
- Soler, P. and Bonhomme, M.G. (1988) Oligocene magmatic activity and associated mineralization in the polymetallic belt of central Peru: Economic Geology v.83, p.657-663.
- Tegart, P., Allen, G. and Carstensen, A. (2000) - Regional setting, stratigraphy, alteration and mineralization of the Tambo Grande VMS district, Piura Department, northern Perú. Geological Association of Canada, 375-405.
- Winter, L., Tosdal, R., Franklin, J. and Tegard, P. (2002) A step in the Formation of the Huancabamba Deflection in the Andes of Perú and Ecuador. Geological Society of America, Abstracts whit Programs v.34, n.6, p.437-439.