

LITOTIPOS INTRUSIVOS DEL YACIMIENTO FERROBAMBA - PROYECTO MINERO LAS BAMBAS – APURIMAC – PERU

Víctor Lipa¹, Félix Guillén¹, Antenor Zanardo² & Fernando Gamero¹

¹ Proyecto Minero Las Bambas – XSTRATA COPPER, Perú; vlipa@xstratacopper.com.pe; fg Guillen@xstratacopper.com.pe; fgamero@xstratacopper.com.pe

² Instituto de Geociencias, UNESP-SP, Brasil, azanardo@rc.unesp.br

RESUMEN

El propósito de este trabajo es presentar una caracterización petrográfica microscópica y litoquímica de los plutones monzoníticos que conforman los diferentes tipos intrusivos del yacimiento Ferrobamba, provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac, sur de los Andes Peruanos.

Para este estudio fueron seleccionadas 6 muestras representativas de las principales facies intrusivas del área, 5 corresponden al yacimiento Ferrobamba y una de la periferia. Estas fueron clasificadas en base a su composición mineralógica, textura y geoquímica de elementos mayores. Presentan una composición predominantemente intermedia a ácida, desde monzonita hasta tonalita y granodiorita, y provienen de un magmatismo calco-alcálido metaluminoso. Las edades K/Ar de estos plutones están comprendidas en el rango 41.4 ± 1.0 Ma a 37.8 ± 1.0 Ma, lo que sugiere pulsos magmáticos locales iniciales y finales. Se sugiere su evolución magmática en ambiente geotectónico de levantamiento continental en régimen de extensional.

SUMMARY

The purpose of this paper is to present a characterization of microscopic petrographic and geochemical of plutonic monzonites that make up different types of intrusive Ferrobamba deposit, province of Cotabambas, department of Apurimac, the southern Peruvian Andes. For this study, 6 representative samples were selected. Of the main intrusive facies area, 5 correspond to Ferrobamba deposit and one of the periphery. These were classified based on their mineralogical composition, texture and geochemistry of main elements. They present a composition dominated intermediate to acid, from monzonite to tonalite and granodiorite, and come from a layer-alkaline magmatism metaluminous. The K / Ar ages plutons are within the range 41.4 ± 1.0 Ma to 37.8 ± 1.0 Ma, suggesting local initial and final magmatic pulses. In its magmatic evolution it is suggested geotectonic environment of continental lifting in an extensive regime.

INTRODUCCIÓN

El proyecto minero Las Bambas se ubica en la provincia de Cotabambas, distrito de Chalhuanhuacho al SE del departamento de Apurímac; geológicamente se encuentra al SE del Batolito Andahuaylas-Yauri y al Sur del Dominio Tectónico de la Deflexión de Abancay. Abarca yacimientos de tipo Skarn asociados a mineralizaciones de sulfuros (Cu-Mo) óxidos y hierro; comprende 5 sectores mineralizados Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba, Charcas y Azuljaja; el Yacimiento Ferrobamba se encuentra al E del proyecto y en la localidad de Fuerabamba.

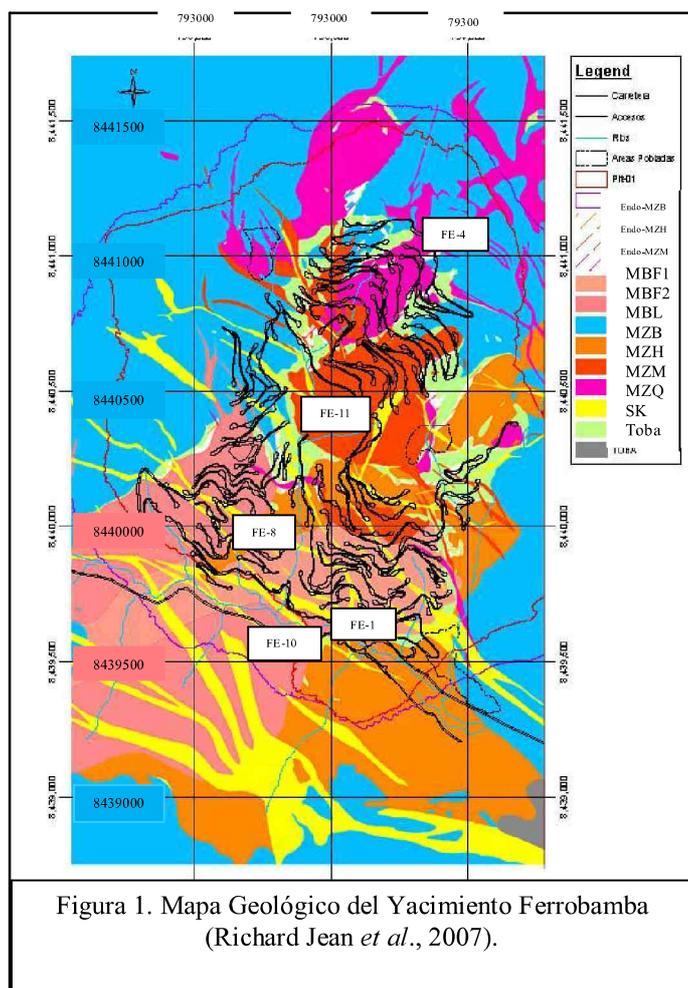
Regionalmente la región esta afectada por la orogenia andina y presenta importantes registros tectono-metamórficos pre-andinos y un significativo evento ígneo correspondiente al batolito Andahuaylas-Yauri.

En el proyecto Las Bambas son predominantes rocas de naturaleza monzonítica que se alojan en las calizas de la formación Ferrobamba, en la zona de Fuerabamba; estos plutones forman parte del Batolito Andahuaylas-Yauri. Datos isotópicos K-Ar en biotita (Parr, 2005) de dos muestras principales del Yacimiento Ferrobamba indican edades de cristalización para la Monzonita Biotítica 41.4 ± 1.0 Ma y para la Monzonita Hornbléndica en torno de 37.8 ± 1.0 Ma.; estas edades caracterizan fases intrusivas diferentes localmente.

CONTEXTO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO FERROBAMBA

El área del yacimiento Ferrobamba esta enmarcada dentro de secuencias sedimentarias y cuerpos plutónicos del Cretáceo medio al Paleógeno (Fig. 1). La cartografía geológica realizada en el año 2005 permitió la distinción macroscópica de un conjunto de unidades litológicas ígneas emplazadas en las secuencias calcáreas de la Formación Ferrobamba (Cretáceo medio-superior). Las rocas plutónicas están representadas principalmente por una variedad de plutones de composición monzonítica cuya diferenciación mineralógica permitió su diferenciación en subtipos litológicos.

La Formación Ferrobamba conforma un 45% del área de estudio, afloran extensamente al N, S, E y O del yacimiento Ferrobamba. Están conformadas principalmente por calizas grises a negras con nódulos de chert, calizas fosilíferas, calizas laminadas y calizas arenosas. Esta unidad calcárea es importante para la formación de cuerpos de skarn en el contacto con las diferentes fases plutónicas; así mismo la Formación Ferrobamba es un importante metalotecto en el Sur del Perú. La edad para esta formación es asignada Albiano – Turoniano (Carlotto V., 2006).



El Paleógeno (Eoceno) esta representado por intrusiones plutónicas que se encuentran cortando a la Formación Ferrobamba.

Según estudios realizados (Reporte Geología, 2005) en el área del Yacimiento Ferrobamba se tiene reconocidas macroscópicamente diferentes fases plutónicas que van de acuerdo a su orden de emplazamiento magmático (temprano al tardío) son: Monzonita Biotítica (MZB), Monzonita Biotítica Fina 2 (MBF2), Monzonita Biotítica Fino 1, Monzonita Máfica (MZM), Monzonita Horbléndica (MZH) y Monzonita Cuarzosa (MZQ) (Reporte Geología, 2007).

Tectónicamente la región ha sido afectada por eventos de deformación severos (Marocco, 1975; Pecho, 1981; Cabrera *et al.*, 1991; Carlotto *et al.*, 1996b) de los cuales del Eoceno al Oligoceno temprano (Incaica) y Oligoceno a Mioceno (Quechua) son los pulsos mas importantes. Las muestras estudiadas de Ferrobamba son: FE-1 793629 8439700; FE-4 793817 8441092; FE-8 793216 8440040; FE-10 793595 8439658; FE-11 793567 8440404.

PETROGRAFÍA

Según los estudios microscópicos motivo de este trabajo, las rocas intrusivas ha sido clasificadas como cuarzo monzodiorita horbléndica, cuarzo monzodiorita máfica, monzogranito horbléndico-biotítico, cuarzo monzodiorita y granodiorita; poseen macroscópicamente una textura holocristalina inequigranular de grano medio a fino y algunos medio a grueso y están constituidas predominantemente

por plagioclasa tabular frecuentemente zonada, feldespato potásico subédrico a anhedral y minerales de biotitas, hornblendas (Fig. 2a, b, c, d, f). Se exceptúa a la granodiorita subvolcánica a dacita la cual posee una textura porfírica, holocristalina e inequigranular (2e).

Los cristales del plagioclasa forman estructuras de reacción, presentan zoneamiento discontinuo y en algunos casos oscilatorio. El zoneamiento señala condiciones de cristalización y variación de la composición magmática de sódico a cálcico y viceversa durante el enfriamiento entrando en un proceso de equilibrio con el magma (Fig. 2a, c, d, e). El feldespato potásico ocasionalmente zonado, se encuentra subordinado y parcialmente intersticial entre el cuarzo y la plagioclasa, esto sugiere un orden de cristalización, el cual está determinado por la termodinámica del proceso de cristalización y la composición del magma que cristaliza, con la cristalización finalizando en el eutéctico con cuarzo y feldespato potásico. Los minerales ferromagnesianos representados por la biotita, anfíboles ocurren en forma alotriomórfica, la biotita en algunos casos se presenta euhédricos en forma hexagonal (Fig. 2a, d, e); su proceso de cristalización sugiere temperaturas mas frías y relacionados a magmas alcalino. El cuarzo se presenta en forma alotriomórfica y extinción ondulante. Como minerales trazas ocurren titanita, apatito, zircón, magnetita y otros minerales opacos.

Para el caso de la Granodiorita Subvolcánica (Dacita), por su textura porfírica con fenocristales idiomórficos y su composición bien podría ser considerada como una Dacita (Fig. 2e). Los cristales de plagioclasa son euhédricos, evidenciando maclado polisintético recubierto en la mayor parte de sus cristales por una zonación oscilatoria a discontinua bien definidas; el cuarzo se presenta en forma microcristalina conformando una matriz fina (sacaroidea) juntos con microcristales de feldespato potásico y sódicos cálcicos (plagioclasas) que engloban a los cristales mayores de plagioclasa y biotita entre otros; la biotita en algunos casos se presenta euhédricos en forma hexagonal y en otros casos en forma alotriomórfica.

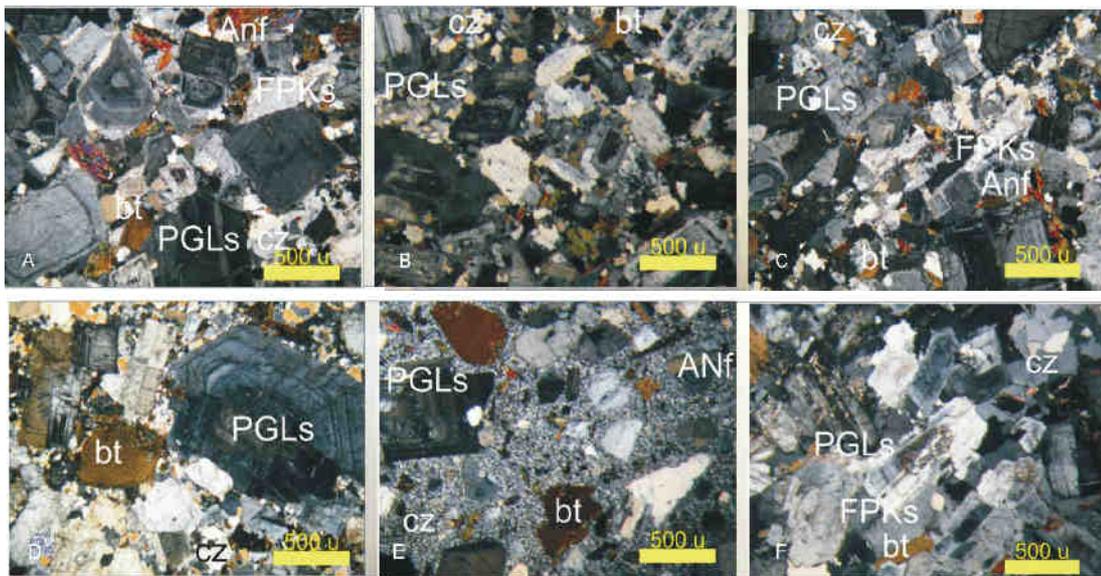


Figura 2 – Aspectos petrográficos de las rocas intermedias de los plutones del yacimiento Ferrobamba.

- a) FE-1: Microfotografía de la cuarzo monzodiorita hornblendica, PGLs y FPKs zonados; b) FE-4: Microfotografía de la cuarzo monzodiorita máfica, PGLs son hipiomórficos y FPKs, bt son generalmente alotriomórficos; c) FE-7: Microfotografía del monzogranito hornbléndico-biotítico, PGLs son hidiomórficos, zonación no bien definida, FPKs y bt alotriomórficos; d) FE-8: Microfotografía de la cuarzo monzodiorita, Cristal de PGLs zonada irregular, FPKs zonados e intersticiales; e) FE-10: Microfotografía de la granodiorita subvolcánica a dacita, textura porfírica, PGLs euhédricos y zonación oscilatoria, bt euhédrica, matriz de microcristales cz, PGLs y FPKs; f) CH-1: Microfotografía de la Granodiorita, PGLs son anhedrales a hipiomórficos, cz alotriomórfico. PGLS plagioclasas, FPKs:feldespato potásico, bt:biotita, cz:cuarzo, ANf:anfíboles.

LITOQUÍMICA

Cinco muestras de los diversos plutones monzoníticos del Yacimiento Ferrobamba y una muestra lejana al yacimiento fueron seleccionadas para análisis de óxidos totales. Su separación fue efectuada con base en criterios minerales y sobre todos texturales. Los análisis fueron llevados a cabo en los laboratorios de geoquímica del Instituto de Geociencias de la UNESP.

Para el procesamiento e interpretación geoquímica fue utilizado el software Newpet. A partir de los datos químicos de elementos mayores que se presentan en la tabla 1, se obtuvieron diversos diagramas geoquímicos del sector de Ferrobamba.

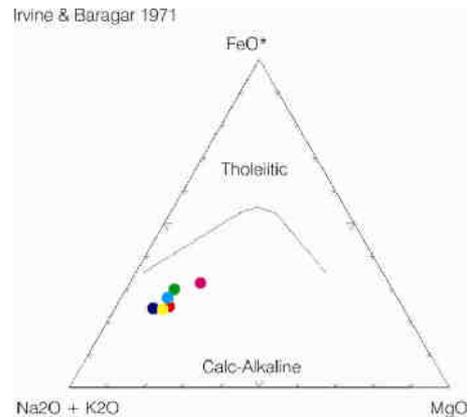
Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Suma
FE-1	64,27	0,58	17,20	3,40	0,04	1,73	3,99	4,80	2,80	0,21	0,96	99,99
FE-4	65,22	0,52	15,86	4,51	0,09	1,72	3,43	4,64	3,10	0,20	0,71	100,00
FE-8	65,49	0,52	17,47	2,96	0,04	1,11	3,58	5,50	1,77	0,18	1,36	99,99
FE-10	65,74	0,50	16,27	3,91	0,06	1,57	3,13	4,69	3,08	0,20	0,88	100,01
FE-11	65,16	0,54	15,72	3,65	0,05	1,75	3,40	4,24	4,51	0,20	0,77	99,99
CH-1	63,61	0,48	16,79	4,24	0,08	2,23	5,62	3,79	2,14	0,15	0,89	100,01

Tabla 1. Datos litoquímicos de los plutones del Yacimiento Ferrobamba (Elementos mayores).

DIAGRAMA DE IRVINE & BARAGAR AFM

El diagrama AFM es utilizado para distinguir tendencias ("trends") características y también para distinguir magmas toleíticos de calco-alcalinos. M=Mg; F=(FeO+0.9Fe₂O₃); A=Na₂O+K₂O. El análisis de las muestras obtenidas del yacimiento Ferrobamba y de la muestra colectada próximo al yacimiento Chalcobamba (gd) señala magmas calco-alcalinos (Fig. 3).

Figura 3. Discriminación de series magmáticas en el diagrama AFM para los plutones del Yacimiento Ferrobamba. A = Na₂O + K₂O; F = FeO + 0,8998Fe₂O₃; M = MgO (en %peso). Datos recalculados para 100% en base anídrica. Curva de Irvine & Baragar, 1971. Donde: ● = FE-1: cuarzo monzodiorita, ● = FE-4: granodiorita a cuarzo monzodiorita, ● = FE-8: tonalita, ● = FE-10: granodiorita, ● = FE-11: cuarzo monzonita, ● = CH-1: tonalita.



Las seis muestras estudiadas son caracterizadas de naturaleza intermedia a acida y clasificadas en líneas generales como cuarzo monzodioritas variando a granodioritas.

DIAGRAMA DE MANIAR & PICCOLINI (SHAND)

El diagrama de Maniar & Piccolini (Shand) dado por la relación $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO):Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ señalan índices de alúmina-saturación. Este diagrama evidencia que las muestras colectadas en el yacimiento Ferrobamba recaen dentro del campo metaluminoso (Fig. 4).

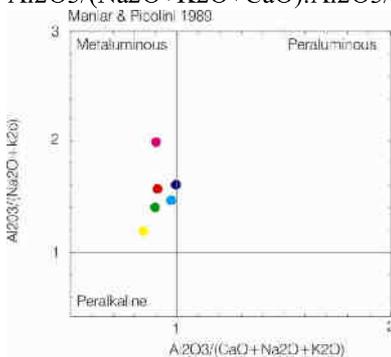


Figura 4. Discriminación de series magmáticas en el diagrama de Shand para los plutones del Yacimiento Ferrobamba. Datos recalculados para 100% en base anídrica. Curva de Maniar & Piccolini, 1989. Donde: ● = FE-1: cuarzo monzodiorita, ● = FE-4: granodiorita a cuarzo monzodiorita, ● = FE-8: tonalita, ● = FE-10: granodiorita, ● = FE-11: cuarzo monzonita, ● = CH-1: tonalita.

El carácter metaluminoso de la serie magmática y su posición es compatible con ambientes de márgenes continentales activas (Wernick, 2003).

DIAGRAMA DE DEBON & LE PORT Q:P

El diagrama Q:P define el nombre de la roca en base a la presencia de cuarzo presente en las rocas y al parámetro P que representa el exceso ó deficiencia del feldespato potásico en relación a la plagioclasa (Wernick, 2004). De acuerdo al análisis geoquímico de las rocas del yacimiento Ferrobamba se puede mencionar que las muestras FE-8 y CH-1 que recaen en el polígono 4 caracterizan rocas de composición tonalítica (equiv. volca. dacita); la muestra FE-10 recae en el polígono 3 (granodiorita); la muestra FE-4 esta entre una granodiorita y una cuarzo monzodiorita; la muestra FE-1 recae en el polígono 7 (cuarzo monzodiorito); la muestra FE-11 recae en el polígono 6 (cuarzo monzonita) (Fig. 5).

Fig. 5. Diagrama Q:P. Donde: ● = FE-1: cuarzo monzodiorita, ● = FE-4: granodiorita a cuarzo monzodiorita, ● = FE-8: tonalita, ● = FE-10: granodiorita, ● = FE-11: cuarzo monzonita, ● = CH-1: tonalita.

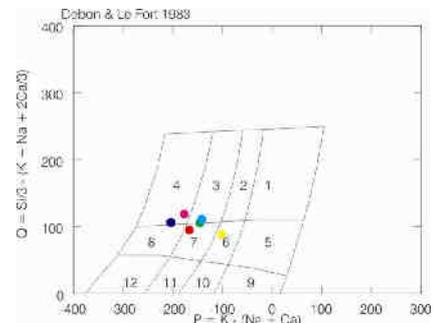


DIAGRAMA DE BATCHELOR & BOWDEN R1-R2

El diagrama de discriminación de granitos de diferentes ambientes geotectónicos, evidencian que 4 muestras colectadas de plutones inicialmente diferenciados en trabajos de campo en el yacimiento Ferrobamba corresponden a un ambiente tectónico de levantamiento post-colisión, estas son FE-1, FE-4, FE-8 y FE-10; la muestra FE-11 (cuarzo monzonita) esta localizada muy próximo a un ambiente orogénico tardío a levantamiento post-colisión y post intrusión batolítica, esto es coherente con las observaciones de campo. La muestra CH-1 caracteriza un ambiente tectónico de subducción pre-colisión. Esto sugiere que la muestra CH-1 es atribuida como intrusión batolítica Andahualas-Yauri, la cual fue emplazada primero como es corroborado en trabajos de campo, mientras que las otras muestras son intrusiones plutónicas son de carácter local y tardías (Fig. 6).

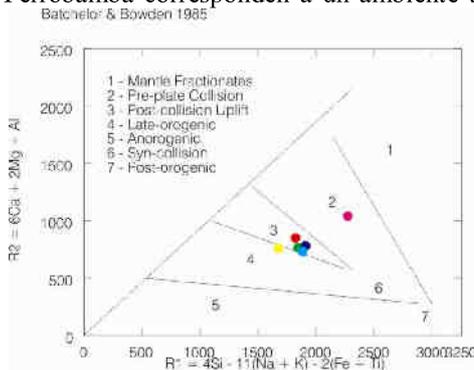


Fig. 6. Diagrama R1-R2. Donde: ● = FE-1: cuarzo monzodiorita, ● = FE-4: granodiorita a cuarzo monzodiorita, ● = FE-8: tonalita, ● = FE-10: granodiorita, ● = FE-11: cuarzo monzonita, ● = CH-1: tonalita.

CONSIDERACIONES FINALES

Los litotipos intrusivos del yacimiento Ferrobamba, varían texturalmente de una cuarzo monzodiorita horbléndica inequigranular de grano medio a grueso a granodiorita subvolcánica a dacita inequigranular porfirítica de grano medio a fino; mientras que la variación mineralógica es mínima (principalmente en minerales de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo).

Los estudios petrográficos y los análisis litoquímicos realizados de algunas muestras similares de modo general guardan correspondencia entre ambos estudios y en otros hay discrepancia al momento de la clasificación litológica; esto puede ser entre otros factores debido al proceso de conteo modal en el análisis petrográfico, a la posición de la lámina delgada en la muestra que fue cortada, a la disposición mineral.

Los resultados relacionados a los datos geoquímicos obtenidos para las 6 muestras deben ser consideradas preliminares. No en tanto es notable la consistencia de resultados, con la caracterización de una serie calco-alcalina, de carácter metaluminoso compatible con magmatismo de márgenes

continentales activas, siendo que en el diagrama R1 x R2 (Batchelor & Bowden, 1985) presentan características de ambiente tectónico de subducción pre-colisión interpretada como perteneciente a intrusión batolítica Andahuaylas-Yauri, representada por granodiorita; subordinadamente levantamiento post-colisión relacionada a las cuarzodioritas, tonalitas emplazadas en el yacimiento Ferrobamba y finalmente orogénico tardío relacionada a la cuarzodiorita enmarcada asimismo en el yacimiento Ferrobamba.

El mapa geológico adjuntado es solo una referencia bibliográfica y no representa los resultados mostrados en este trabajo.

REFERENCIAS

- Batchelor R. & Bowden P., 1985. Petrogenic interpretation of granitoid rocks series using multicaticonic parameters. *Chem. Geol.*, v.48, p.43-55.
- Carlotto V., 2006. Evolución sedimentaria y tectónica de la Formación Ferrobamba (Albiano-Turoniano) de la región Cotabambas-Apurímac. XIII Congreso Peruano de Geología, pp. 525-528.
- Carlotto V., Gil, W., Cárdenas, J., y Chávez, R., 1996b. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas 27r y 27s: Lima Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Carta Geológica Nacional, Boletín no. 65, serie A, 245 p.
- Cabrera, J., Sébrier, M., and Mercier, J.L., 1991. Plio-Quaternary geodynamic evolution of segment of the Peruvian Andean cordillera located above the change subduction geometry: The Cuzco region. *Tectonophysics*, v. 190, p. 331-332.
- Debon F. & Le Fort P., 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. Roy. Soc. Edimburgh: Earth Sci.*, v.73, p.135-49.
- Irvine T. & Baragar W., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, v.8, p.523-48.
- Jean R., Parr M., Chirre A. & Guillén, 2007. Mapa Geológico del Proyecto Las Bambas. Xstrata Perú.
- Maniar P. & Piccolini P., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Bull Geol. Soc. Am.*, v.101, p. 635-43.
- Marocco, 1975. Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas: Lima. Instituto de Geología, Minería y Metalurgia, no. 27, 51 p.
- Parr M. 2005 Informe Geológico interno Las Bambas, Xstrata Perú.
- Pecho, 1981. Geología de los Cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba, y Santo Tomás. Instituto de Geología, Minería y Metalurgia, no. 35, 67 p.
- Reporte Geología 2007. Las Bambas, Xstrata Copper 2007.
- Reporte Geología 2005. Las Bambas, Xstrata Copper 2005.
- Wernick E. 2004. Rochas magmáticas. Editora UNESP.