

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y PRUEBAS METALÚRGICAS EN LA PROSPECCIÓN DE MINERALES POLIMETÁLICOS EN EL COMPLEJO MARAÑÓN – PERÚ

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION AND METALLURGICAL TESTS IN PROSPECTING POLYMETALLIC MINERALS IN THE MARAÑÓN COMPLEX - PERU

Daniel Lovera, Ángel Bustamante, Pedro Gagliuffi, Janet Quiñones, Luis Puente, Laureano Gaudencio, Jorge Diego, Alfonso Romero

RESUMEN

Estudios prospectivos desarrollados en la Zona de la Cuenca del Marañón nos muestran un tipo de Geología Regional denominada Complejo del Marañón – Región Huánuco, consistente en minerales metálicos de Cobre, Plata, Oro en esquistos y gneis en contacto con intrusivos, así como también minerales de Níquel, Cobalto, Titanio, Platino, entre otros.

La caracterización de los minerales de la zona mediante técnicas instrumentales: Microscopio minerográfico, Análisis por espectroscopia Mössbauer, Análisis químico multielemental, nos permiten corroborar la presencia de los minerales metálicos del Complejo Marañón, así como la presencia de óxidos de hierro, y con un grado de magnetización que son indicadores de la presencia metálica en las zonas muestreadas.

Pruebas metalúrgicas efectuadas nos indican una buena recuperación metalúrgica de los concentrados obtenidos para el mineral de calcopirita, lo cual indica una buena posibilidad económica para la Cuenca del Marañón.

Palabras clave: Caracterización, prospección geológica, Complejo Marañón, metalurgia.

ABSTRACT

Prospective studies carried along in the Marañón Basin area show a kind of Regional Geology called Marañón Complex - Huánuco Region, which is made up of metallic minerals of copper, silver and gold in schists and gneiss being in contact with intrusive ones, as well as nickel, cobalt, titanium and platinum minerals among others.

Characterization of minerals in the area through instrumental techniques: mining-graphic microscope, Mössbauer spectroscopy analysis and multielements chemical analysis, allow us to confirm the presence of such metallic minerals in the Marañón Complex, as well as the presence of iron oxides with a degree of magnetization showing metals presence in the sampled areas.

Metallurgical tests performed show a good metallurgical recovery of the concentrates thus obtained for the chalcopyrite mineral, what shows a good economical possibility for the Marañón Basin.

Keywords: Characterization, Geological Prospection, Marañón Complex, Metallurgy.

* Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: iigeo@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN [1, 2]

El Complejo del Maraón consiste en una potente secuencia de rocas metamórficas que afloran ampliamente en la parte central y en la región oriental del Perú. En general, los afloramientos se encuentran en ambas márgenes del río Maraón, y consisten de esquistos micáceos, cloritosos de coloración gris y verde, los cuales están cortados por vetas de cuarzo lechoso de diferente grosor. El resto del Complejo del Maraón consiste generalmente en filitas y pizarras de color gris; presentando, además, una unidad meta volcánica que se presenta a manera de grandes lentes que se siguen a través de cientos de metros (Ver figura N.º 1).

Las observaciones geológicas realizadas sobre el Complejo del Maraón permiten definir en la región tres fases tectónicas principales comparables a las definidas por Dalmayrac B. (1978) y Rivera (1992) (Ver figura N.º 2).

La zona de estudio está enmarcada en una región que es materia de una intensa actividad prospectiva por oro y polimetálicos (Pb, Zn, Cu, Ag, Mn, Co), caso de los cuadrángulos de Pataz, Tayabamba, Pomabamba, Huari, La Unión, Huánuco; bajo esta perspectiva es obvia la importancia económica del área por encontrarse dentro del alineamiento tectónico regional.

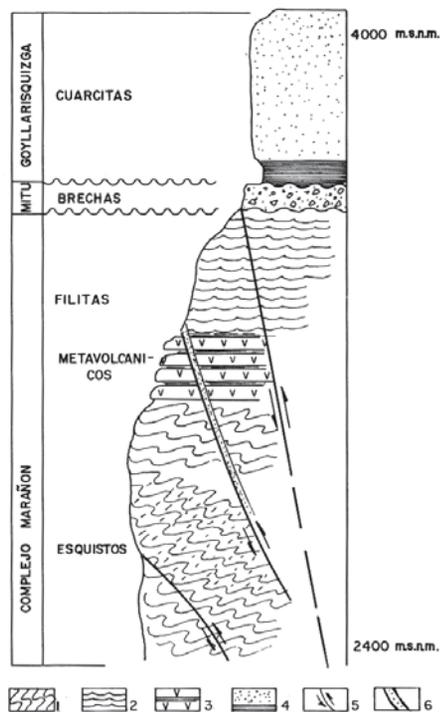


Figura N.º 2. Columna esquemática de la parte Oeste del Valle de río Maraón, Área Huacchis-Arancay. (1) Esquistos; (2) Filitas; (3) Metavolcánicos; (4) Fm. Goyllarisquiza; (5) Fallas y (6) Vetas de cuarzo.

Fuente: Jacay *et al.* (1990).

Está constituido esencialmente por esquistos y filitas en colores marrón a verdosos, la orientación de la esquistosidad tiene un rumbo N 85° E y buzamiento 50° NO.

Por correlación con los estudios metalogénicos a nivel regional (Soler, P. *et al.*, 1986; Vidal, C. *et al.*, 1995), se considera que el Complejo metamórfico del Maraón podría contener minerales metálicos de cobre, plata, oro en los esquistos y gneis en contacto con los intrusivos, así como también de níquel, cobalto, titanio, platino, etc., dentro de rocas ultrabásicas que pertenecen a las mineralizaciones asociadas al Ciclo Neoproterozoico y Ciclo Paleozoico (Soler *et al.*, 1986) [3].

II. ESCENARIO DE COTIZACIÓN Y PRODUCCIÓN MINERA

El cobre y el zinc, a la fecha, están en sus máximos históricos, en la Bolsa de Metales de Londres (LME), el referencial de los metales, el cobre, ampliamente usado en instalaciones eléctricas, desde 3600, en mayo de 2005; alcanzó un récord de 4793 dólares la tonelada en enero 2006 (Ver figuras N.ºs 3 y 4).

UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	CRONOESTRATIGRAFICAS	SERIE	LITOLOGIA	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	DESCRIPCION	
CENOZOICO	NEOGENICO	CUATERNARIO			Fragmentos angulosos y limonititas	
		HOLOCENO				
	OZMOCENO	PLIOCENO				
		MIOCENO				200 m de areniscas de grano medio a grueso, con horizontales conglomerádicos y lutitas de medio continental
		OLIGOCENO				
		EOCENO				
MESOZOICO	CRETACEO	PALEOCENO		Fm. Choto	Continental, 30 m. de conglomerados	
					100 m de lutitas margosas y areniscas de grano medio	
		SUPERIOR		Fm. Celendín	Yeso y sabla, 30 m.	
				Fm. Jumashu	320 m de plataforma carbonatada calizas y pizcas margas	
	TRIASICO	INFERIOR			Fm. Criñajas	50 m de margas y calizas marinas
					Fm. Goyllarisquiza	415m de areniscas suavesas y lutitas rojas Continental
		SUPERIOR			Fm. Chombord	102m de plataforma carbonatada, calizas dolomitas y chert.
						Magmatismo Andino
		MEDIO				
		INFERIOR				
PALEOZOICO	PERMIANO	SUPERIOR		Gpo. Mtu	52 m de sedimentos de ambiente continental conglomerados y lutitas rojas.	
		INFERIOR			Magmatismo Hercínico	
	CARBONIFERO	SUPERIOR			Gpo. Copacabana	Aproximadamente 70m de arenisca de grano fino y calizas gris oscuro.
		INFERIOR				
DEVONICO	SUPERIOR			Gpo. Ambo	Aproximadamente 500m de sedimentos continentales a playa, conglomerados de basamento, areniscas gruesas	
NEOPROTEROZOICO				Complejo Maraón	esquisto, filitas, gneis	

Figura N.º 1. Columna estratigráfica del cuadrángulo de singa. Fuente: Jacay *et al.* (1996).

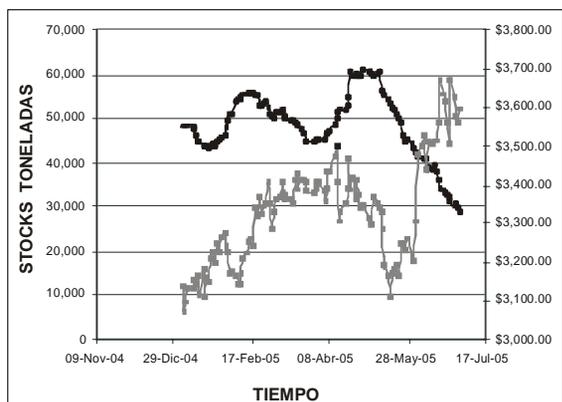


Figura 3. Cotización Internacional del cobre.

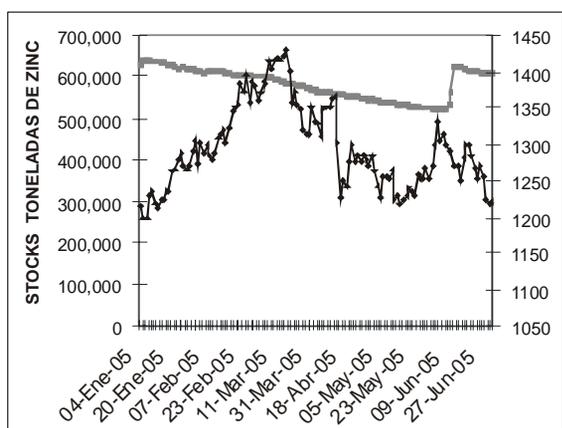


Figura N.º 4. Cotización Internacional del zinc.

El zinc, usado principalmente como baño anticorrosivo en la producción de acero galvanizado y en filtros, actualmente es una de las estrellas sobre las perspectivas favorables para los metales. El precio del zinc llegó a un máximo de 2305 dólares por tonelada en enero de 2006. Los metales preciosos también subieron en medio del diluvio de dinero especulativo sobre las materias primas. En enero de 2006, el platino llegó a su máximo histórico de 1056 dólares por onza, la Plata alcanzó su precio más alto de 9.46 dólares por onza, mientras que el oro subió a 566.20 dólares [4,5,6].

la producción minera nacional se ha ido incrementando a lo largo de las últimas diez décadas, cifras que son reportadas por el Ministerio de Energía y Minas. De un estudio de la producción de los metales de cobre, zinc, oro y plata, podemos apreciar la tendencia creciente y sostenida a lo largo del tiempo, pudiéndose también inferir que se debían a buenos precios y a niveles productivos altos por la puesta en marcha de los megaproyectos,

por citar Antamina, Yanacocha, entre otros (Ver figuras 5, 6 y 7).

A la fecha hay expectativa con el proyecto de Toromocho, que podría ser la mayor mina de cobre del Perú a partir del 2010.

III. METODOLOGÍA

La estrategia del estudio consiste en seguir una secuencia de métodos de análisis de muestras de rocas y minerales que permitieron desarrollar resultados más precisos y objetivos.

La evaluación de la calidad y cantidad de las muestras se llevó a cabo en dos etapas:

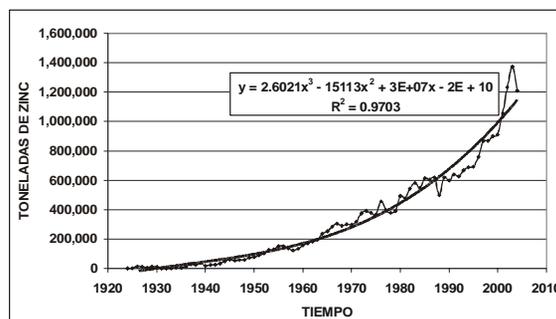


Figura N.º 5. Producción Nacional del zinc.

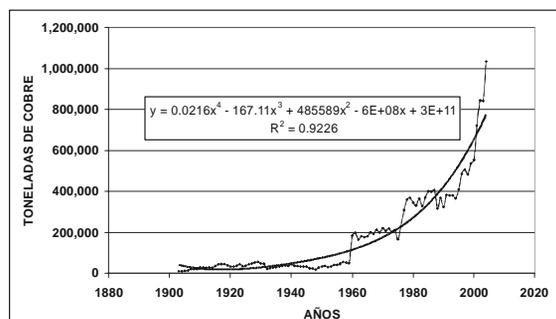


Figura N.º 6. Producción nacional del cobre.

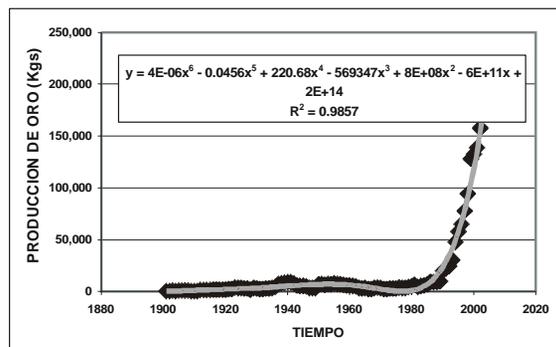


Figura N.º 7. Producción nacional del oro.



Figura N.º 8. Roca de la zona de Tantamayo.

1. Estudio en el campo

Evaluación *in situ* del afloramiento y comportamiento de asociatividad y ensamble de las rocas y minerales.

Análisis macroscópicos de muestras de mano.

2. Estudio en gabinete

Análisis microscópico de rocas y minerales.

Análisis químico de rocas y minerales.

Descripción macroscópica [7, 8, 9]

En la zona delimitada por la cuenca del río Marañón y Tantamayo se han recolectado muestras de rocas, las cuales presentan la siguiente descripción macroscópica (ver figuras N.ºs 8 y 9).

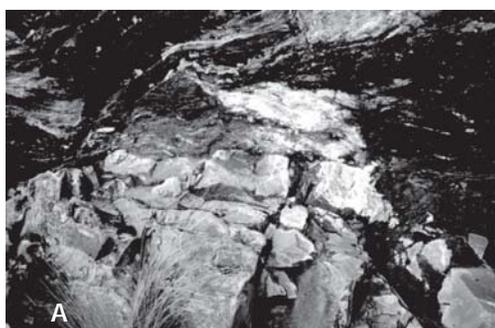


Figura N.º 9. A) Tipo de roca de la zona de Yanac, B) Minerales de la zona de Yanac.

Tipos de rocas

- Filita con veta de cuarzo
- Roca de caja andesítica
- Roca andesita silicificada
- Roca filoneana (Veta)

Tipos de minerales

Los minerales encontrados son: Calcopirita, Limonita, Clorita, Pirita, *Plagioclasa*, *Escalerita*, *Pirrotita*, *Marmatita* y *Magnetita*.

Tipos de facies

Las facies encontradas son del tipo:

- Metamórfica
- Volcánica
- Metasomatizada
- Hidrotermal

Caracterización física

Muestra de la Zona OSHNO

Muestra de la zona de OSHNO medida a alta velocidad, no se observa componente magnético y fue ajustado con un doblete paramagnético; se requiere medir a baja velocidad para dilucidar si se requieren uno o dos dobletes en el ajuste.

La muestra de la zona de OSHNO medida a baja velocidad, un buen ajuste al espectro incluyó la presencia de dos dobletes. El doblete de color magenta corresponde al hierro en una sustancia paramagnética, el otro doblete de líneas ensanchadas (color azul) corresponde a partículas de óxidos o hidróxidos menores a 100 Å en estado

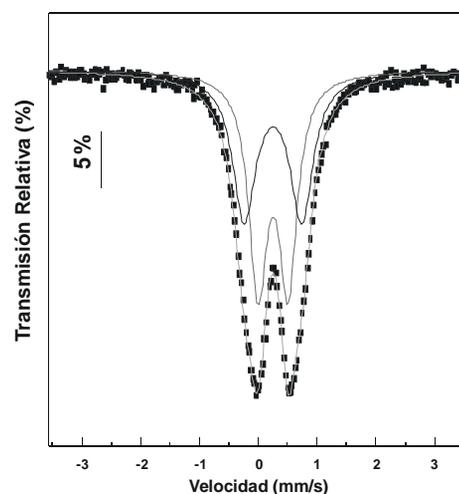


Figura N.º 10. Análisis por Espectroscopia Mössbauer.

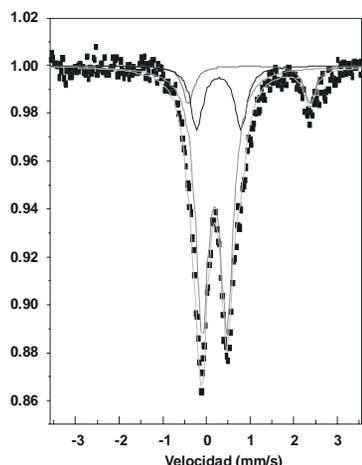


Figura N.º 11. Análisis por espectroscopia Mössbauer.

superparamagnético; para saber con precisión a qué óxido corresponde, se requiere medir la muestra a baja temperatura (ver figura N.º 10).

Muestra de la zona Racuy

Muestra de la zona Racuy medida a baja velocidad, un buen ajuste al espectro incluyó la presencia de tres dobletes: El doblete de color magenta corresponde al hierro Fe^{3+} en una sustancia paramagnética; el doblete de color azul, como en el caso anterior, de líneas ensanchadas, corresponde a partículas de óxidos o hidróxidos menores a 100Å en estado superparamagnético; para saber con precisión a qué óxido corresponde, se requiere medir la muestra a baja temperatura; el tercer doblete de color verde corresponde al hierro Fe^{2+} en una sustancia paramagnética (ver figura N.º 11).

Zona Padre Rummy

Muestra de la zona denominada Padre Rummy medida a alta velocidad; no se observa componente

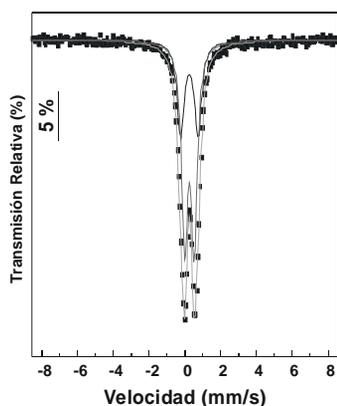


Figura N.º 12. Análisis por Espectroscopia Mössbauer.

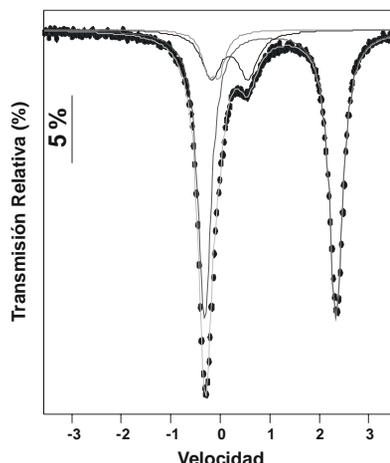


Figura N.º 13. Análisis por Espectroscopia Mössbauer.

magnética y fue ajustado con dos dobletes; se requiere medir a baja velocidad para un mejor ajuste (ver figura N.º 12).

Muestra SHOGOSH 1

Medida a baja velocidad; fue ajustado con tres dobletes: El doblete de color verde corresponde a Fe^{2+} paramagnético, y los dobletes pequeños de color celeste y azul son para el Fe^{3+} . Se requiere medir a baja temperatura (ver figura N.º 13).

Zona SHOGOSH 2

Muestra SHOGOSH 2 medida a alta velocidad; se observa una componente magnética (color verde) con campo magnético de 32 Tesla y es característico de la presencia del hierro metálico. También se tiene dos dobletes de Fe^{3+} , uno de ellos puede ser atribuido a partículas súper paramagnéticas (ver figura N.º 14).

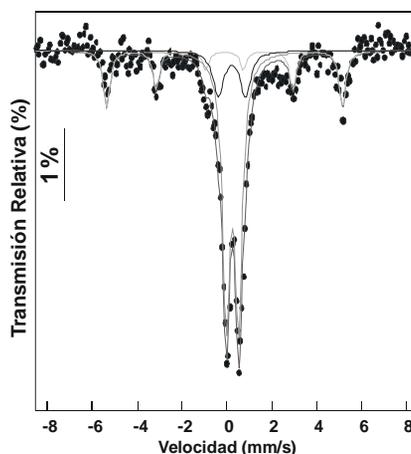


Figura N.º 14: Análisis por Espectroscopia Mössbauer.

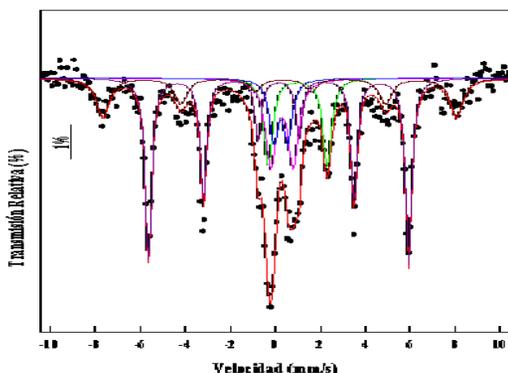


Figura N.º 15. Análisis por Espectroscopia Mössbauer.

Zona de Yánac

Muestra Yánac medida a alta velocidad; se observan dos componentes magnéticos: el de color vino, con líneas ensanchadas y con campo magnético de 50 Tesla, es característico de la presencia del óxido hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$); el segundo campo magnético de color violeta corresponde a la presencia del hierro metálico (34T). Además, posee tres dobletes: El doblete de color verde corresponde a Fe^{2+} paramagnético; y los dobletes pequeños de color magenta y azul son para el Fe^{3+} . Se requiere medir a baja temperatura (ver figura 15).

Análisis de la microfotografía

De la observación de las microfotografías (ver figuras N.ºs 16 y 17) se puede incidir de una fuerte liberación de la esfalerita.

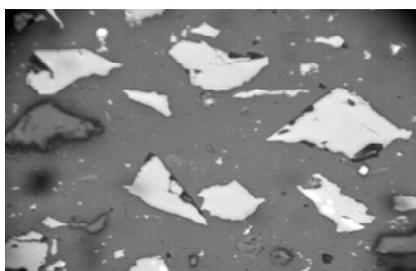


Figura N.º 16. Microfotografía mineral sulfurado de zinc.

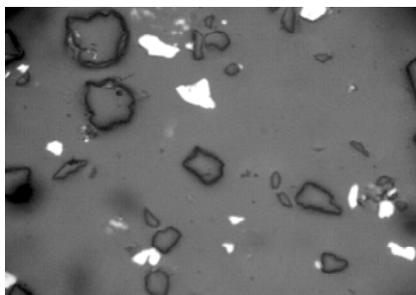


Figura N.º 17. Microfotografía de mineral sulfurado de cobre.

Análisis Químico

Las muestras mineralizadas de la zona fueron analizadas en diferentes laboratorios, arrojando las siguientes distribuciones multielementales. (ver figuras N.ºs 18 y 19).

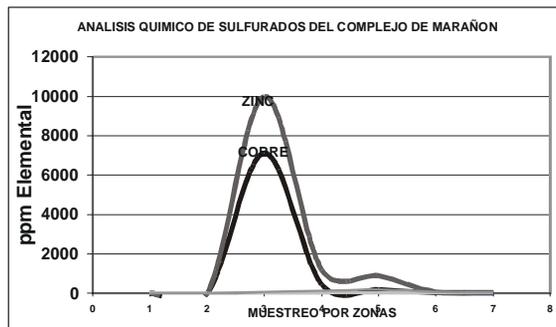


Figura 18. Análisis químico del cobre y zinc.

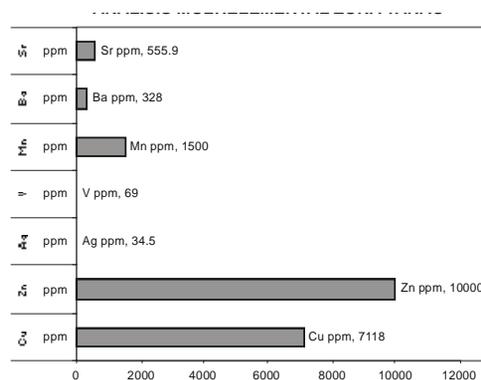


Figura N.º 19. Análisis multielemental de la zona Yanac

IV. PRUEBAS METALÚRGICAS

El mineral de cobre sulfurado de la zona del Complejo Marañón se sometió a las operaciones unitarias siguientes: chancado, molienda, flotación y filtración; obteniéndose los resultados siguientes:

	Cu	Fe	S
Cabeza	10.50	18.55	26.35
Concentrado	24.28	30.72	30.64
Medios	2.30	21.00	5.02
Relaves	2.48	13.74	4.27

Figura N.º 20. Resultados de la flotación.

Recuperaciones metalúrgicas

Los resultados de las pruebas experimentales efectuadas con el mineral sulfurado de cobre de la zona ubicada en el complejo del Marañón se muestran en las figuras N.ºs 21, 22, 23 y 24.

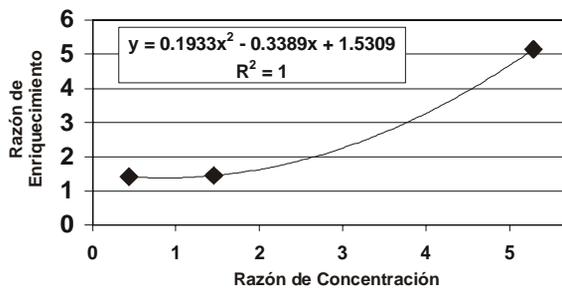


Figura N.º 21. Razón de enriquecimiento vs. Razón de concentración.

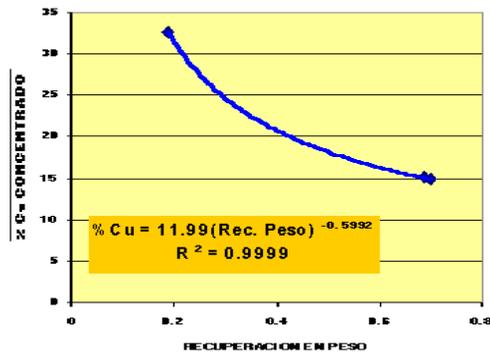


Figura N.º 22. Recuperación vs. recuperación en peso mineral.

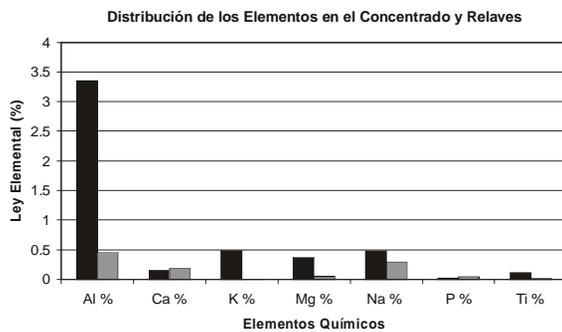


Figura N.º 23. Distribución de elementos intermedios en el concentrado y relaves.

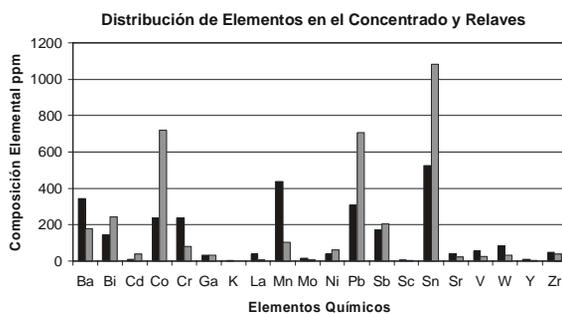


Figura N.º 24. Distribución de elementos minoritarios en el concentrado y relaves.

V. CONCLUSIONES

- Se puede inferir una relación de los minerales propuestos por la geología regional con los minerales identificados por la geología local.
- La caracterización fisicoquímica nos lleva a identificar las especies presentes en la mineralización de la zona.
- Las pruebas metalúrgicas demuestran las bondades técnicas y económicas de los minerales de cobre y zinc de la zona del Complejo del Marañón.

VI. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Superior de Investigaciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el financiamiento del proyecto de Investigación N.º 05160102-2005; al Instituto IIGEO-UNMSM; a la minera CHAVINITA, por la información brindada; y a los profesores de las escuelas de Ingeniería Metalúrgica, Ciencias Físicas e Ingeniería Geológica por su participación en el proyecto, especialmente a Jhony Herrera y a las personas que han colaborado Luis Lovera y Carlos Malpartida.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. DALMAYRAC, B. (1970). *Mise en évidence d'une chaîne antero-dovicienne et probablement précambrienne dans la cordillère orientale du Pérou central (région de Huánuco)*. C.R.Ac.Sc., Paris, T.270, 1088-1091.
2. JACAY, J. et al. (1996). *Geología del Cuadrángulo SINGA*. INGEMMET, Lima- Perú.
3. SOLER et al. (1986). *Essai de synthèse sur la métallogénie du Pérou*. Géodynamique.1(1), 33-68.
4. REUTERS. (2006). «América Latina». <http://es.news.yahoo.com>
5. Economía (2006). <http://www.economia.gob.mx>
6. PRENSACOM (2006). <http://www.prensa.com/hoy/negocios/477131.html>
7. QUIÑONES, J. 2005. *Descripción Macroscópica Informes Interno*. FIGMMG – IIGEO.
8. GAGLIUFFI, P. (2005). «Análisis Microscópico de muestras». Informe Interno, FIGMMG – IIGEO.
9. BUSTAMANTE, A. (2005). *Análisis por Espectroscopia Mössbauer*. FIGMMG– IIGEO.
10. LOVERA, D. (2003). *Proyecto Minero Metalúrgico Chavinita*. Lima, Perú.