

Caracterización mineralógica por tierras raras en depósitos minerales del centro del Perú

Mineralogical characterization for mineral deposits in rare earth center of Peru

Quiñones Lavado Lourdes Janet¹, Gagliuffi Espinoza Pedro Miguel¹

RECIBIDO: 19/03/2016 - APROBADO: 30/06/2016

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal la caracterización mineralógica por tierras raras de las muestras provenientes de depósitos minerales del centro del Perú. Para determinar la composición mineralógica se utilizó la técnica de microscopía óptica mediante el uso de un microscopio de polarización de luz reflejada y para el análisis de los minerales portadores de tierras raras, la técnica de ICP-MS, que se utiliza para el estudio de materiales sueltos o tierras raras.

El análisis microscópico de las muestras de los depósitos minerales de Milpo (Mina Pilar), Chungar y Mina Raúl determinó la composición mineralógica constituida por especies minerales, tales como pirita, esfalerita, galena, calcopirita, marcasita, magnetita, pirrotita, goethita, tetraedrita, bornita, covelita y gangas.

El estudio de las muestras aplicando la técnica de ICP MS confirmó la presencia de elementos de las tierras raras tales como cerio(ce), disprosio(dy), erbio(er), europio(eu), gadolinio(gd), holfnio(ho), lantano, lutecio(lu), neodimio(nd), praseodimio(pr), samario(sm),terbio(tb), tulio(th), (tm), uranio(u) ytrio(y) e iterbio (yb) que son elementos de tierras raras de interés económico, dicho resultado es reportado en forma cualitativa y cuantitativa.

Palabras clave: Tierras raras, centro del Perú, depósitos minerales, caracterización mineralógica, microscopía óptica, ICP MS.

ABSTRACT

The present study had as its main objective the mineralogical characterization by rare earth samples from mineral deposits in central Peru, to determine the mineralogical composition technique optical microscopy was used by using a polarizing microscope reflected light and carriers analysis technique ICP-MS used for the study of loose materials or rare earth rare earth minerals.

Microscopic analysis of samples of mineral deposits Milpo (Pilar Mina), Chungar and Mina Raul determine the mineralogical composition consisting of minerals such as pyrite, sphalerite, galena, chalcopyrite, marcasite, magnetite, pyrrhotite, goethite, tetrahedrite species, bornite, covellite and bargains.

The study of samples using the technique of inductively coupled plasma mass spectrometry confirmed the presence of elements of rare earths such as cerium (ce), dysprosium (Dy), erbium (er), europium (eu), gadolinium (Gd), holfnio (ho), lanthanum, lutetium (lu), neodymium (nd), praseodymium (pr), samarium (sm), terbium (Tb), thalium (th), (tm), uranium (u) yttrium (y) and ytterbium (yb) which are rare earth elements of economic interest, this result is reported in qualitative and quantitative way.

Keywords: Rare earths, central Peru, mineral deposits, mineralogical characterization, optical microscopy, ICP MS.

¹ Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mails: lourdesjaneto@gmail.com / mgagliuffie@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Las tierras raras han prevalecido a lo largo de la historia, pero en un principio solo se utilizaban con fines científicos. Conforme la investigación química fue avanzando en el estudio de sus propiedades, se descubrieron sus múltiples aplicaciones industriales y actualmente son considerados elementos químicos estratégicos para la elaboración de productos de alta tecnología. (Martínez, 2014)

Las tierras raras están ligadas a nuestros bienes industriales más preciados como la electrónica de última generación, los superconductores, los instrumentos “led”, fabricación de láseres, etc. (Burkhalter, 2016).

Los elementos de tierras raras son un conjunto de diecisiete elementos químicos en la tabla periódica; específicamente los quince lantánidos más escandio e itrio, mencionados en último lugar y que es la aceptada por la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). (Montero, 2012).

Las Tierras Raras se separan en tres grupos: I. Tierras Raras Ligeras: Lantano, Cerio, Praseodimio y Neodimio. II. Tierras Raras Intermedias: Europio, Samario y Gadolinio. III. Tierras Raras Pesadas: Terbio, Disprobio, Holmio, Erblio, Tulio, Yterbio y Lutecio (Burkhalter, 2016).

Las rocas en las que se encuentran los minerales que contienen los elementos de las tierras raras son rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, las cuales se han enriquecido en elementos de las tierras raras mediante procesos primarios ígneos o hidrotermales o procesos secundarios sedimentarios. (Montero, 2012).

En la presente investigación se muestran los resultados que nos permite conocer la composición mineralógica utilizando la técnica de microscopía óptica y la cuantificación del contenido de tierras raras utilizando la técnica de ICP MS en las muestras provenientes de los depósitos minerales del Centro del Perú.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de la investigación desarrollada es aplicado de tipo experimental, la que se inició con la recolección de información existente en el tema de estudio, luego se realizó la selección y recolección de muestras. Para la caracterización mineralógica mediante el método de microscopía óptica de luz reflejada fue necesario la preparación de las muestras en secciones pulidas.

Las muestras utilizadas provienen de los depósitos de Milpo, Chungar y Mina Raúl ubicados en el Centro del Perú (Tumialan, 2003) las cuales fueron molidas y tamizadas a diferentes mallas y el análisis de caracterización se realizó en forma independiente.

El estudio de microscopía óptica se realizó utilizando el microscopio de polarización de luz reflejada marca Leitz Ortholux II del Laboratorio de Microscopía Óptica de la Escuela de Ingeniería Geológica de la UNMSM.

Los análisis por elementos de tierras raras se realizaron en los laboratorios de ALS mineral (Lima-Perú) mediante el método de espectrometría de masas (ICP-MS), para determinar el contenido de tierras de estas muestras, y dependiendo de los análisis se clasificaron por: ME-MSS1 que es la fusión de metaborato de litio que disuelve la mayoría de los constituyentes de una roca mineral así como trazas de minerales, para trazas de elementos y tierras raras, la solución es analizada vía ICP-MS.

Las muestras entregadas fueron molidas a tamaño de partícula mediante trituración, se cuartearon, se pulverizaron y después de homogeneizarse se tomó la cantidad necesaria para el análisis.

Finalmente, se realizó un tratamiento estadístico para los datos resultantes de la microscopía óptica y del método de ICP MS que determinó los valores de los elementos de las tierras raras.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis microscópico de las muestras

La caracterización mineralógica nos ha permitido la observación de todos los minerales que constituyen las muestras de estudio.

3.2. Determinación de la composición mineralógica

En la Tabla N.º 1 se incluyen los minerales observados y los que han intervenido en el análisis modal de las muestras de concentrado y relave de Milpo y Mina Raúl.

En la tabla N.º 1 se puede diferenciar lo siguiente:

- Minerales argentíferos: No se han observado minerales de plata, la galena es portadora de este valor metálico.
- Minerales ferríferos: Como minerales ferríferos están la pirita, pirrotina, magnetita, marcasita y la goetita.
- Minerales cupríferos: Como mineral de cobre está la calcopirita, tetraedrita, covelita y bornita.
- Minerales zincíferos: Como mineral de zinc está la esfalerita.
- Minerales plumíferos: Como mineral de plomo está la galena.
- Otros minerales: En este grupo se encuentran las gangas dentro de estas están los silicatos y carbonatos.

Tabla N.º 1. Composición mineralógica de las muestras

Minerales	Fórmula	Abreviatura	Cargo molino Milpo	Mina Raúl concentrado	Mina Raúl relave
Calcopirita	CuFeS	cp	X	X	X
Esfalerita	ZnFe	ef	X	X	X
Galena	PbS	gn	X		
Goetita	α -FeO(OH)	gt	X		
Magnetita	FeO-Fe ₂ O ₃	mt	X		X
Marcasita	FeS ₂	mc	X		
Pirita	FeS ₂	py	X	X	X
Pirrotita	Fe _(1-x) S	po	X		
Tetraedrita	(Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	tn	X		
Bornita	Cu ₃ FeS ₄	bn		X	
Covelita	CuS	cv		X	
Rutilo	TiO ₂	rt			X
Gangas		GGs	X	X	X

Fuente: Datos recolectados por los investigadores.

3.3 Distribución volumétrica y grado de liberación

Las distribuciones volumétricas son reportadas en términos porcentuales, del mismo modo con respecto a los grados de liberación; los cuales se presentan para todos los minerales que han intervenido en el análisis modal y se pueden observar en la Tabla N.º 2

Tabla N.º 2. Distribución volumétrica y grados de liberación.

Minerales	Milpo Cargo Molino		Mina Raúl Concentrado		Mina Raúl Relave	
	Vol. %	Grado de Lib.	Vol. %	Grado de Lib.	Vol. %	Grado de Lib.
Calcopirita	0.59	0.59	80.97	99.16	4.98	96.62
Esfalerita	12.06	12.06	7.06	96.70	1.48	99.67
Galena	1.82	1.82	-	-	-	-
Goetita	0.07	0.07	-	-	-	-
Magnetita	1.39	1.39	-	-	2.09	91.95
Marcasita	0.14	0.14	-	-	-	-
Pirita	25.65	25.65	8.38	86.17	11.61	99.42
Pirrotita	0.38	0.38	-	-	-	-
Tetraedrita	0.15	0.15	-	-	-	-
Bornita	-	-	1.48	69.17	-	-
Covelita	-	-	0.8	96.77	-	-
Rutilo	-	-	-	-	0.05	0.00
Gangas	57.81	57.81	1.32	97.56	79.83	92.14

Grado de Lib. = Grados de Liberación de los minerales.

Vol. % = Volumen porcentual de los minerales.

Fuente: Datos recolectados por los investigadores.

3.4. Análisis de las muestras mediante la técnica de ICP MS

La técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS, del nombre en inglés Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), permite el análisis de elementos trazas y tierras raras en minerales en un área de hasta 50 μ m. La técnica de ICP-MS combina dos propiedades analíticas que la convierten en un potente instrumento en el campo del análisis de trazas multielemental.

En la Tabla N.º 3 se muestran los resultados de los contenidos en ppm de los elementos de la tierras raras mediante el método de espectrometría de masas (ICP-MS), de ICP MS.

Tabla N.º 3. Contenidos expresados en ppm de las tierras raras (REE) en muestras de depósitos del centro del Perú.

Description Muestra	WEI-21	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	SUMA REE	
	Peso recibido	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Th	Tm	U	Y	Yb	ppm	
	kg	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Carga Molino-Cabeza Milpo	0.26	3.1	0.17	<0.03	0.07	0.25	0.04	2.3	0.02	1.4	0.37	0.3	0.01	0.34	0.01	6.22	1.6	0.15	16.35	
Over Flow - Milpo	0.19	5.0	0.13	0.10	0.05	0.25	0.03	2.9	0.01	1.6	0.51	0.31	0.02	0.36	0.05	3.89	1.3	0.06	16.57	
Concentrado de Plomo-Milpo	0.19	18.9	1.2	0.63	0.49	1.02	0.24	11.1	0.1	7.7	2.0	1.5	0.16	1.5	0.1	7.68	7.5	0.61	62.43	
Concentrado de Zinc - Milpo	0.21	22.5	1.35	0.78	0.52	1.41	0.28	14.1	0.1	8.5	2.48	1.79	0.2	1.82	0.13	8.49	9.8	0.63	74.88	
Concentrado Cobre Milpo	0.23	71.0	1.78	0.86	0.61	2.25	0.33	38.6	0.12	23.5	7.35	3.28	0.3	1.44	0.13	0.61	9.0	0.75	161.91	
Relave de Zinc - Milpo	0.21	93.8	3.9	2.15	1.17	4.83	0.75	50.4	0.28	34.6	9.92	6.17	0.63	3.47	0.31	1.19	20.8	1.94	236.31	
Concentrado - Mina Raúl	0.24	3.2	0.2	0.12	0.03	0.25	0.04	2.5	0.03	1.0	0.39	0.16	0.02	0.34	0.01	3.49	1.3	0.03	13.11	
Relave Mina Raul	0.45	21.5	1.27	0.67	0.52	1.26	0.22	12.8	0.09	8.0	2.2	1.55	0.18	1.68	0.1	10.1	7.7	0.6	70.44	
Concentrado de Zinc - Chungar	0.14	5.5	0.35	0.11	0.07	0.38	0.06	3.0	0.03	2.2	0.67	0.42	0.05	0.68	0.02	0.48	2.1	0.13	16.25	
Concentrado de Plomo - Chungar	0.22	6.1	0.29	0.18	0.10	0.5	0.07	3.6	0.02	2.5	0.7	0.42	0.05	0.74	0.04	0.41	2.0	0.09	17.81	
Relave Final - Chungar	0.14	39.8	2.97	1.80	0.80	3.21	0.69	20.3	0.25	16.7	4.57	3.31	0.48	5.97	0.28	2.59	18.0	1.66	123.38	
Concentrado de Cobre Chungar	0.16	2.5	0.19	<0.03	<0.03	0.2	0.03	3.7	0.01	1.2	0.25	0.21	0.01	0.3	0.09	0.32	0.9	0.05	9.96	
Cabeza BLK Chungar	0.26	33.9	2.51	1.59	0.74	2.6	0.53	17.4	0.23	14.7	4.02	2.8	0.42	5.14	0.26	2.08	15.6	1.5	106.02	

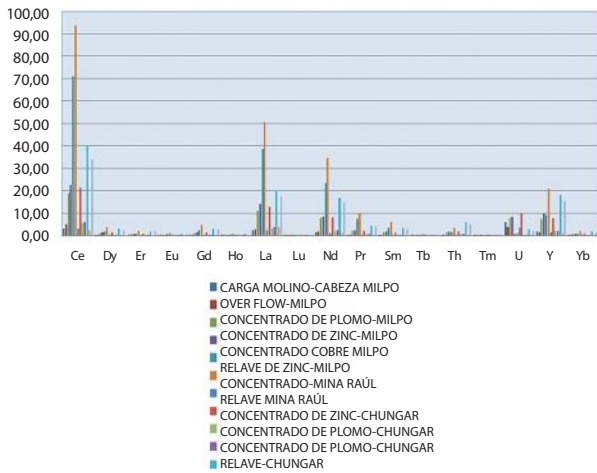


Figura N.º 1. Distribución de las tierras raras en las muestras de estudio.

3.5. Interpretación de datos

El estudio microscópico incluye la composición mineralógica, grado de liberación, volumen porcentual, en los diversos minerales presentes en las muestras de concentrado y de residuos finales (concentrados y relaves).

Los grados de liberación que presentan los minerales que han intervenido en el análisis modal de la muestra, nos indican las diferentes dificultades que han encontrado durante la etapa de la molienda, dichos grados de liberación son proporcionados en porcentajes de las partículas libres y el tipo de entrelazamiento entre los diferentes minerales.

El resultado del estudio aplicando la técnica de ICP MS confirmó la presencia de elementos de las tierras raras tales como cerio (ce), disprosio (dy), erbio (er), europio (eu), gadolinio (gd), holfnio (ho), lantano (la), lutecio (lu), neodimio (nd), praseodimio (pr), samario (sm), terbio (tb), talio (th), tulio (tm) y uranio (u) que son elementos de tierras raras de interés económico, dicho resultado es reportado en forma cuantitativa.

De todas las muestras analizadas, la muestra de relave de zinc de Milpo es la que contiene mayores valores y la muestra de concentrado de cobre de Chungar es la que tiene menores valores de elementos de tierras raras.

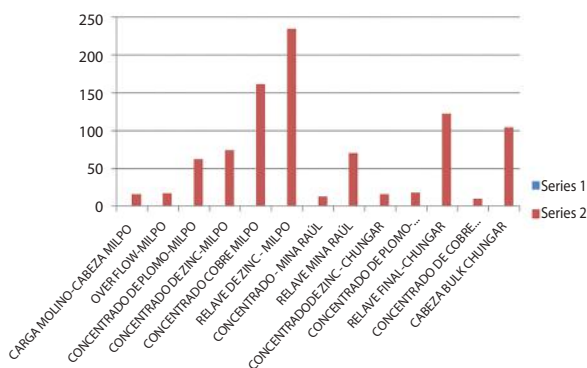


Figura N.º 2. Contenido total de tierras raras.

3.6. Micrografías

A continuación se muestran las micrografías tomadas durante el estudio que son pruebas fehacientes de lo observado. Ver Figuras 3 al 10.

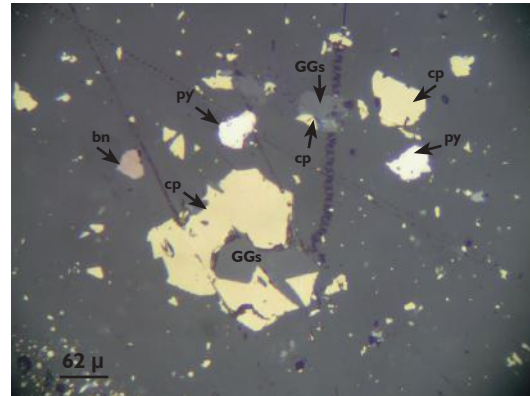


Figura 3. Partículas libres de calcopirita (cp), pirita (py), bornita (bn) y Gangas (GGs) en nicoles paralelos. Magnificación: 200X. Muestra: concentrado de mina Raúl.

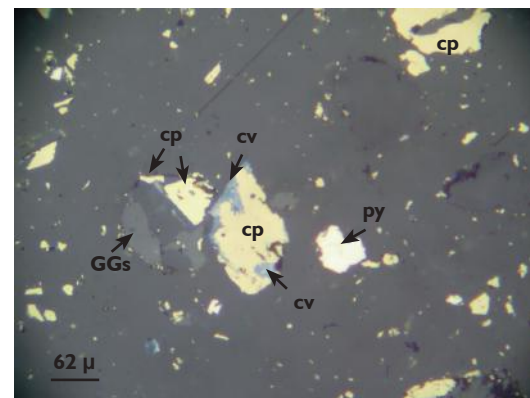


Figura 4. Partículas libres de calcopirita (cp), pirita (py), Gangas (GGs) y partículas entrelazadas de calcopirita y covelita (cv) en nicoles paralelos. Magnificación: 200X. Muestra: concentrado de mina Raúl.

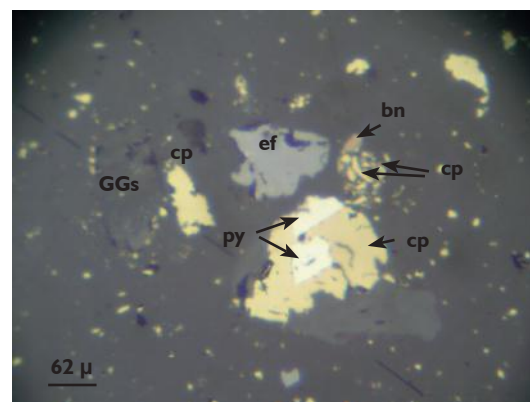


Figura 5. Partículas libres de calcopirita(cp), pirita(py), calcopirita(cp), bornita(bn), esfalerita(ef), Gangas (GGs) y partículas entrelazadas de calcopirita y pirita en nicoles paralelos. Magnificación: 200X. Muestra: concentrado de mina Raúl.

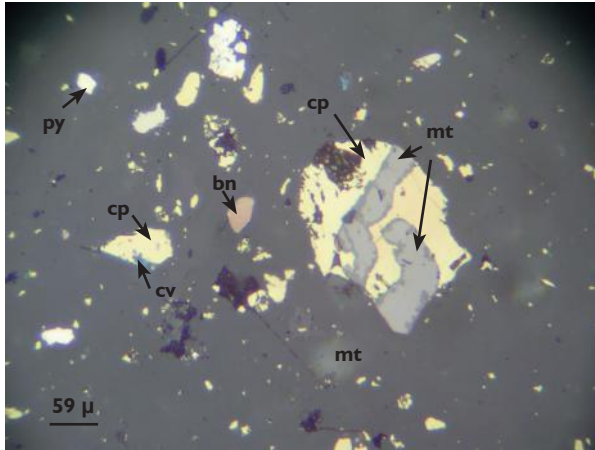


Figura 6. Partículas libres de pirita (py), bornita (bn), magnetita (mt) y partículas entrelazadas de calcopirita con magnetita y calcopirita con covelita (cv) en nicols paralelos. Magnificación: 200X. Muestra: concentrado de mina Raúl.

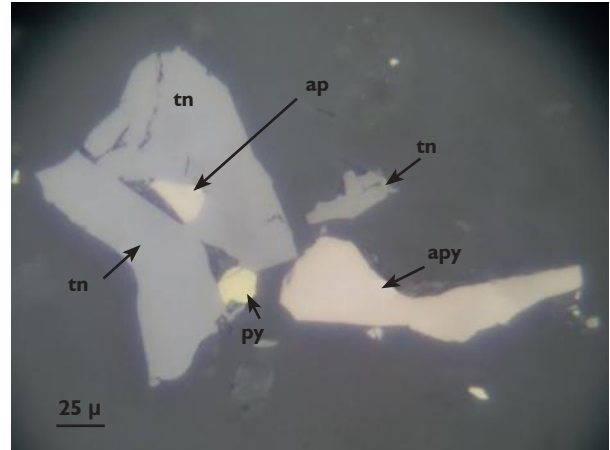


Figura 9. Partículas libres arsenopirita (apy) y partículas entrelazadas de tenanita (tn), arsenopirita y pirita (py) en nicols paralelos. Magnificación: 500X. Muestra: relave de mina Raúl.

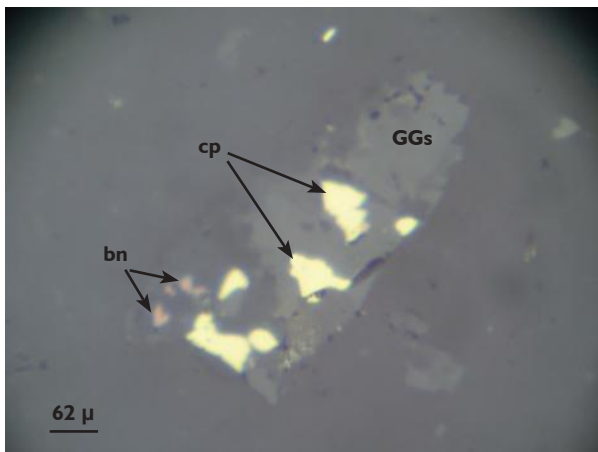


Figura 7. Partículas libres de calcopirita (cp), bornita (bn) y Gangas (GGs) en nicols paralelos. Magnificación: 200X. Muestra: relave de mina Raúl.

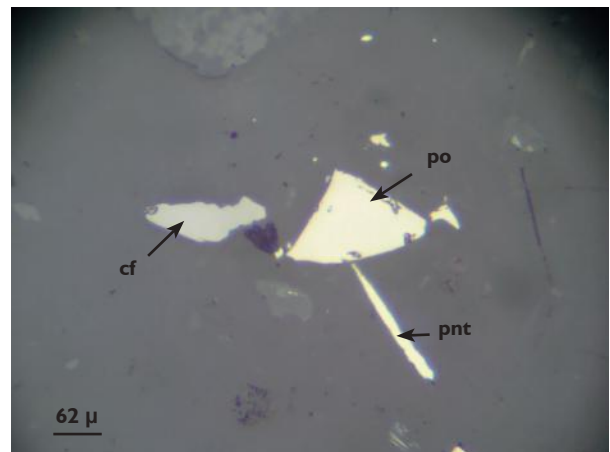


Figura 10. Partículas libres esfalerita (ef) y partículas entrelazadas de pirrotita (po) y pentlandita (pnt) en nicols paralelos. Magnificación: 200X. Muestra: relave de mina Raúl.

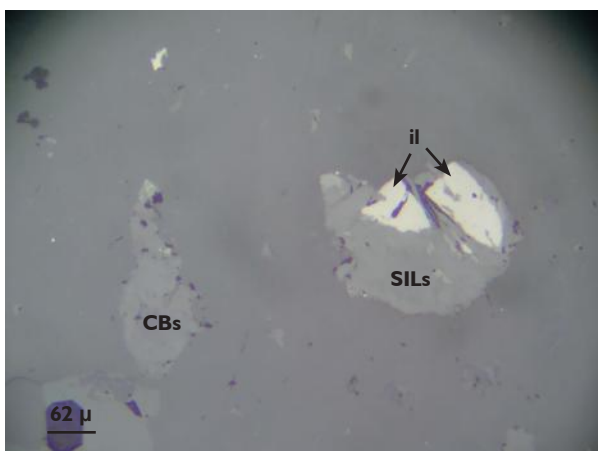


Figura 8. Partículas libres de cobre gris (CBs), y partículas entrelazadas de Gangas (SILs) e Ilmenita (il) en nicols paralelos. Magnificación: 200X. Muestra: relave de mina Raúl.

IV. CONCLUSIONES

El análisis mineralógico realizado con el método de microscopía óptica nos indicó la naturaleza polimineral constituida por especies minerales, tales como calcopirita, esfalerita, galena, goetita, magnetita, marcasita, pirita, pirrotita, tetraedrita, bornita, covelita, rutilo y gangas.

Los grados de liberación que presentan los minerales que han intervenido en el análisis modal de la muestra, nos indican las diferentes dificultades que han encontrado durante la etapa de la molienda, dichos grados de liberación son proporcionados en porcentajes de las partículas libres y el tipo de entrelazamiento entre los diferentes minerales.

El resultado del estudio aplicando la técnica de ICP MS confirmó la presencia de elementos de las tierras raras tales como: cerio (ce), disprosio (dy), erbio (er), europio (eu), gadolinio (gd), holfnio (ho), lantano (la), lutecio (lu), neodimio (nd), praseodimio (pr), samario (sm),terbio (tb), talio(th), tulio(tm) y uranio(u) que son elementos de tierras raras de interés económico.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Superior de Investigaciones, al Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas, Metalúrgica y Geográfica, a la EAP de Ingeniería Geológica de la UNMSM, por las facilidades prestadas a través de los laboratorios de Microscopía Óptica, así como a profesores y estudiantes de la EAP de Ingeniería Geológica de la UNMSM que colaboraron con el desarrollo del Proyecto de Investigación N.º 141601031.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Burkhalter Thiebaut E., Vergara Espuelas R. (2016). Proyecto de Tierras Raras de Matamulas: "El Primer yacimiento de Europa". *Quantum Minería* - España.
2. Martínez Cortés J.I., Del Valle Giles A.V. (2014). Las tierras raras: un sector estratégico para el desarrollo tecnológico de China. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Economía Centro de Estudios China-México. N° 6.
3. Montero Montero E. (2012). La crisis de las tierras raras. Universidad de Cádiz. Puerto Real, Septiembre 2012, vol. 1 - 1
4. Tumialan de la Cruz P.H. (2003). Compendio de yacimientos minerales del Perú. Tomo 10 de la serie B del INGEMMET.