



XVIII Congreso Peruano de Geología

Caracterización geoquímica de los residuos mineros y aguas superficiales de la mina abandonada Jornune (Lampa Mining)

Luis Araujo Ramos¹, Sheyla Palomino Oré¹, Naysha Luque Velazco¹, Franz N. García Huazo²

¹Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Av. Canadá 1470, San Borja - Lima 41, Perú, Lima, Perú (laraujo@ingemet.gob.pe)

²Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n La Molina, Lima, Perú

1. Introducción

El presente artículo tiene por objetivo analizar la geoquímica de los residuos mineros de la mina abandonada Jornune (Lampa Mining), ubicado en el distrito de Cabanillas, provincia de Lampa, en la región de Puno.

Para tal objetivo se tomaron muestras de agua superficial, agua subterránea, residuos mineros, sedimentos de río y precipitados en un manantial de la zona en contacto con el residuo minero, de los cuales se determinaron las concentraciones químicas de los siguientes elementos químicos: Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V y Zn.

2. Descripción del sitio

La unidad minera abandonada Jornune es un depósito de tipo filoniano, donde se explotaba hierro. Este se encuentra emplazado en el Grupo Tacaza, siendo la roca caja las andesitas. Entre los minerales presentes se tienen pirita y calcita (Cabos, 2009). Las unidades donde la inspección fue realizada consisten en cuatro pilas de residuos mineros y un manantial ubicado al costado de un residuo minero, el cual ha sido impactado por las actividades mineras de la zona.

3. METODOLOGÍA

Las muestras de agua se tomaron en lugares de mezcla o aguas abajo de estas, al centro de la corriente, para garantizar la representatividad del punto de muestreo.

No se muestreó en la confluencia de los ríos tributarios o de los ríos influenciados por canales en el punto de muestreo.

Se evitaron las áreas de turbulencia excesiva, a causa de una posible pérdida de componentes volátiles. Otras zonas a evitar fueron las orillas de los ríos o los tramos donde se encontró vegetación.

En caso de muestras puntuales, se realizó al centro de la corriente y a una profundidad media (a 30 cm por abajo de la superficie o 30 cm sobre el fondo).

Para los residuos mineros se tomaron muestras simples en envases de HDPE o en su defecto en bolsas de polietileno, con el fin de mantener su humedad. Cavando hoyos de aproximadamente 5 a 10 cm de profundidad en sitios específicos en la superficie del relave, utilizando guantes. La decisión de muestrear un PAM dependió de la opinión de los autores tras la evaluación en campo, al momento de la inspección. Se consideraron los cambios de granulometría en el muestreo, pues se sabe que generalmente, los relaves depositados cerca de la tubería de distribución son los más gruesos y los que se encuentran más alejados son los más finos. La pala de muestreo fue de acero inoxidable, por ser un material no reactivo que no altere la muestra. La muestra recolectada no incluyó los primeros 3 cm de material superficial.

En el cuadro 1 se presenta la relación de muestras, con sus respectivos códigos, ubicación (Figura 1) y descripción.

Las muestras de agua fueron analizadas por: metales totales mediante el método ICP-MS y análisis de aniones y cationes. Las pruebas para los residuos mineros, roca y sedimentos fueron: ICP-MS para metales totales y

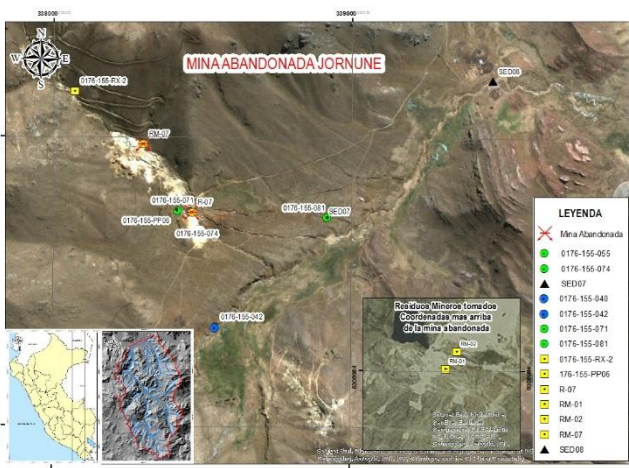
elementos mayores, además de la prueba ABA, prueba SPLP y análisis por difracción de rayos X.

Cuadro N° 1. Ubicación y descripción de las muestras

Código	Norte	Este	Altitud m.s.n.m	Tipo de muestra	Fecha	Descripción
0176-155-042	8254326	338547	4169	A. Sup.	20/08/2013	Punto de muestra ubicado aguas arriba de la mina abandonada JORNUNE.
0176-155-081	8254708	338920	4139	A. Sup.	10/09/2014	Punto de muestra ubicado aguas abajo de la mina abandonada JORNUNE
0176-155-040	8254725	338461	4216	A. Sup.	20/08/2013	Muestra de agua superficial ubicada después del contacto con el residuo minero.
0176-155-055	8254716	338466	4210	A. Sup.	09/06/2014	Muestra de agua superficial ubicada después del contacto con el residuo minero.
0176-155-074	8254734	338413	4215	A. Sub.	10/09/2014	Muestra de agua tomada en el manantial.
0176-155-071	8254730	338418	4217	A. Sub.	09/06/2014	Muestra de agua tomada en el manantial.
R-07	8254724	338466	4207	R. M.	20/08/2013	Muestra compuesta de residuos mineros
RM-07	8254959	338301	4264	R. M.	09/06/2014	Muestra compuesta de residuos mineros
RM-01	8308990	313308	4822	R. M.	10/09/2014	Muestra del residuo minero, presenta niveles de óxido y alteraciones de color rojizo y amarillento.
RM-02	8309053	313345	4822	R. M.	10/09/2014	Muestra de residuo minero, presenta niveles de óxido y alteraciones de color rojizo y amarillento.
0176-155-RX-2	8255141	338071	4295	R. M.	10/09/2014	Muestra de roca alterada
SED07	8254708	338920	4139	Sed.	10/09/2014	Muestra de sedimento ubicado aguas arriba de la mina abandonada JORNUNE.
SED08	8255183	339472	4111	Sed.	10/09/2014	Muestra de sedimento ubicado aguas debajo de la mina abandonada JORNUNE.
0176-155-PP06	8254734	338413	4215	Precip.	10/09/2014	Muestra del precipitado del manantial

- A. Sup. Agua superficial
- A. Sub. Agua subterránea
- Sed. Sedimentos
- R. M. Residuos Mineros
- Precip. Precipitados en manantial

Figura N° 1 Ubicación de muestras



Para evaluar los resultados se utilizó el gráfico de metales totales vs pH para los resultados de las seis muestras de agua (Gráfico 1) y el de NP vs AP para las pruebas ABA en los residuos mineros, roca alterada y sedimentos ubicados aguas abajo de la mina, señalándose la generación de agua ácida (Gráfico 2).

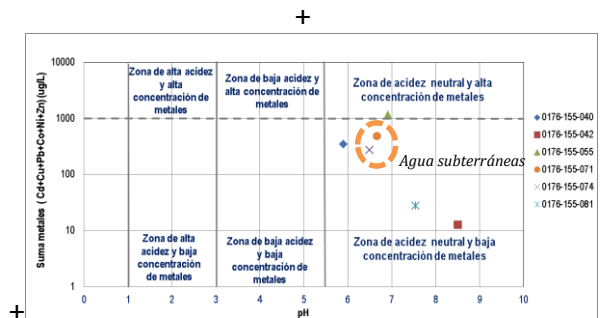
En un tercer gráfico, mediante histogramas, se comparan los valores logarítmicos de las concentraciones de los elementos analizados en las muestras de los residuos y sedimentos (Gráfico 3), y finalmente se realizó un gráfico con los resultados de la prueba SPLP de los residuos mineros R-07 y RM-07.

4. RESULTADOS

Los análisis se presentarán en los siguientes gráficos:

En el gráfico 1, se puede observar que las muestras de agua superficial y subterránea se encuentran en la zona de acidez neutral y baja concentración de metales. Asimismo, la muestra 0176-155-055, la cual corresponde al agua superficial después del contacto con el residuo minero, se encuentra en la zona de acidez neutral y alta concentración de metales, lo que significa que el residuo minero influye en la calidad de las aguas naturales, en dirección abajo al agua.

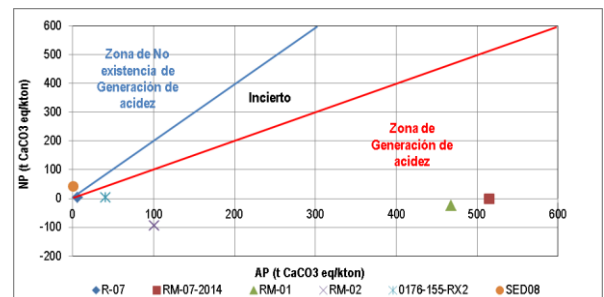
Gráfico 1. Gráfico de muestras de agua superficial y subterránea



Fuente: Laboratorios INSPECTORATE SAC y SGS del Perú, método ICP-MS.

En el gráfico 2, se observa que las muestras de residuos mineros se encuentran en la zona de generación de aguas ácidas. Mientras que la muestra de sedimento (SED08) se encuentra en la zona de no generación de aguas ácidas, pero con poco potencial de neutralización.

Gráfico 2. Gráfico de generación de aguas ácidas



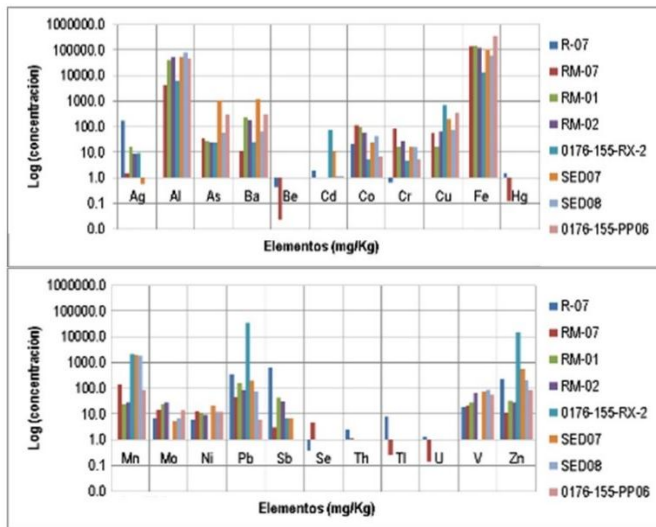
Fuente: Laboratorios INSPECTORATE SAC y SGS del Perú, método ABA.

En el gráfico 3 se observa que en los residuos mineros y sedimentos se encuentran altas concentraciones de Al, Fe, As, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn. Así también, en el cuadro 2 se observan los metales con mayores concentraciones en las muestras analizadas.

Cuadro N° 2. Metales de mayores concentraciones en las muestras analizadas.

Muestra analizada	Concentraciones promedio de metales (mg/Kg)				
	1° metal más abundante	2° metal más abundante	3° metal más abundante	4° metal más abundante	5° metal más abundante
Residuos mineros	Fe (132 514)	Al (31 413)	Sb (182.5)	Pb (163.1)	Zn (75.3)
Sedimentos	Fe (85 579)	Al (68 064)	Mn (1 938)	Ba (637.8)	As (596.1)
Roca alterada	Pb (35 435)	Zn (14 250)	Fe (13 697)	Al (6 130)	Mn (2 118)
Precipitados en manantial	Fe (340 994)	Al (48 801)	Cu (346)	Ba (314)	As (293)

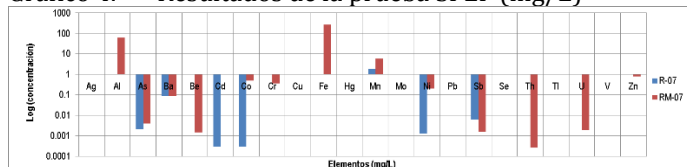
Gráfico 3. Comparación de la concentración de elementos químicos en las diferentes muestras (mg/kg)



Fuente: Laboratorio INSPECTORATE SAC, método ICP-MS.

La prueba SPLP dio como resultados la generación de lixiviados de los dos residuos mineros, los cuales provienen de diferentes puntos de muestreo y que presentan las siguientes características para el año 2013: manganeso (1.86 mg/L), bario (0.087 mg/L), antimonio (0.006 mg/L) y arsénico (0.0022 mg/L). Para la muestra tomada en el año 2014: hierro (265.8 mg/L), aluminio (62.38 mg/L), manganeso (5.91 mg/L), zinc (0.82mg/L), cobalto (0.48 mg/L), cromo (0.362 mg/L) y níquel (0.205 mg/L).

Gráfico 4. Resultados de la prueba SPLP (mg/L)



METHOD 1312. Synthetic Precipitation Leaching Procedure.

El análisis por difracción de rayos X dio como resultado los siguientes minerales en las muestras tomadas:

- Muestras de residuos compuestos: albita, heulandita, andalusita y goetita.
- Muestras de residuos mineros, capa superficial: albita, cuarzo, piritita y jarosita.

- Muestras de residuo mineros más profundos: albita, jarosita, yeso y augita.
- Muestras de sedimentos: albita, cuarzo, calcita, galena y microclina.
- Muestras de roca alterada: cuarzo, clorita, esfalerita y calcita.
- Muestra de Precipitado: goetita, microclina, hematita, clorita y muscovita.

5. CONCLUSIONES

En los efluentes de la mina Jornune, los sulfatos provendrían de los minerales sulfurados encontrados en la mineralogía de los relaves y los residuos mineros, como la piritita y jarosita. En el caso del aluminio, este provendría de las plagioclasas alteradas hidrotermalmente y luego por meteorización su roca caja andesítica. El hierro de los óxidos de hierro, y en la mineralogía se encontró hematita y goetita. El manganeso, cobalto y níquel, arsénico, vendrían de los lixiviados generados en las pilas de residuos mineros de la zona. Sin embargo, el manganeso también podría provenir de los óxidos de manganeso de la roca diorítica que se encuentra en la cabecera de cuenca.

Luego de recibir los aportes de la mina abandonada Jornune, las aguas del río Cotaña superaron los estándares ambientales de agua de los sulfatos, hierro y manganeso. También se presentó valores de pH básico, que se habría generado por la disolución de las calizas de la Formación Ayabacas.

6. REFERENCIAS

- Autoridad Nacional del Agua (ANA-2012) Compendio de los recursos hídricos superficiales de Puno.
- Acosta A (2008). Estudio de los volcánicos cenozoicos del Sur del Perú y su relación con la metalogía.
- Acosta, A, (2011). Memoria sobre la geología de Puno.
- Autoridad Nacional del Agua (2007). Inventario de fuentes de agua superficial en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa.
- Autoridad Nacional del Agua (2012). Compendio de los recursos hídricos superficiales de Puno.
- Cabos, Roger (2009). Potencial Minero de la región de Puno.
- Centro de Capacitación y Comunicación (2008) Contaminación ambiental y cultural en el lago Titicaca: Estado actual y perspectivas.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (1979). Guía para la evaluación de laboratorios de aguas. Análisis físicos y químicos. Lima, Perú. Serie de documentos técnicos 4. 95 pp.
- Environmental Protection Association (1994). Water quality. Sampling. Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples. ISO 5667-3:1994
- Freeze, R.A. y J.A. Cherry (1979). Groundwater. Prentice Hall. 604 pp.

- Gibbs, R.J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170: 1088-1090.
- Hounslow, Arthur. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation* (1995). Front Cover. CRC Press. Technology & Engineering - 416 pp.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (1995). Mapa ecológico del Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (2007). Inventario de fuentes de agua subterránea en la cuenca del río Coata.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (2008). Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa.
- J.G. Crock, B.F. Arbogast, and P. J. Lamothe. Laboratory methods for analysis of environmental samples. *The Environmental Geochemistry of mineral deposits*, Chapter 13. USGS.
- Ministerio de Energía y Minas (1998). Evaluación ambiental y territorial de las zonas auríferas de Puno.
- Ministerio de Energía y Minas (2013). Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro.
- Ministerio del Ambiente (2009). Identificación de fuentes de contaminación de la cuenca del Lago Titicaca.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition (1999)
- W.H. Ficklin and E.L. Mosier. Field Methods for sampling and analysis of environmental samples for unstable and selected stable constituents. *The Environmental Geochemistry of mineral deposits*, Chapter 12. USGS.

Agradecimientos

Los autores aprovechan la oportunidad para agradecer a sus padres, por ser impulsores de sus vidas. Agradecer también a los ingenieros geólogos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – DGAR-INGEMMET, quienes aportaron con conocimientos al mejoramiento de esta investigación. Al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, por permitirnos realizar investigaciones de esta índole para el desarrollo de nuestro país.