

Caracterización preliminar de desechos mineros de mina La Estancia, provincia de San Luis

Preliminary characterization of mining wastes from La Estancia mine, San Luis province

Carolina Kanneman¹
M. Cecilia Gallard Esquivel²
Ernesto Perino³
Jorge González⁴
Natalia J. Marchevsky^{1*}

¹Departamento de Minería, FCFMyN, Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco 917, CP. 5700, San Luis, Argentina.

²Departamento de Geología, FCFMyN, Universidad Nacional de San Luis, Ejercito de Los Andes 950, CP. 5700, San Luis, Argentina.

³INQUISAL (CONICET-UNSL) - Área de Química Analítica, FQByF, Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco 917, CP. 5700, San Luis, Argentina.

⁴INTEQUI (CONICET-UNSL), Almirante Brown 1455, CP. 5700, San Luis, Argentina.

*nmarchevsky@unsl.edu.ar; nmarchevsky@gmail.com



RESUMEN

La Estancia, es una antigua mina de oro y plomo, ubicada en el centro oeste de la Sierra de San Luis. La explotación de minerales en este lugar cesó a mediados del siglo XX. Desde entonces, yace a orillas de su planta concentradora una acumulación de desechos que se encuentran sin ningún tipo de contención; pudiendo constituir una fuente potencial de contaminación de aguas naturales y suelo del lugar.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar este material de desecho desde el punto de vista físico-químico y mineralógico. Se trabajó con una muestra compósito la cual fue cuarteada en sucesivas etapas hasta obtener fracciones de material suficiente para aplicar cada una de las técnicas: análisis granulométrico, análisis por Espectroscopia de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX). La mineralogía se estudió mediante microscopía óptica de luz reflejada.

El análisis químico reveló la presencia de Pb ($> 1\%$), Zn (952 ppm), Fe (1,8%) y metales preciosos como Au (3,8 ppm) y Ag (60 ppm). La caracterización mineralógica cualitativa demostró la existencia de diversos sulfuros como galena, esfalerita, pirita y óxidos e hidróxidos de hierro en abundancia. Las fases mayoritarias de minerales pudieron ser contrastadas mediante DRX. Los resultados preliminares indican que este material podría ser un potencial generador de drenaje ácido, por lo que se recomienda profundizar los estudios en este sentido.

Palabras Clave: desechos mineros, relaves, caracterización.

ABSTRACT

La Estancia, is an old gold and lead mine, located in the west center of Sierras de San Luis. The exploitation of minerals in this place ceased in the middle of the 20th century. Since then, mine tailings, without any type of containment, lies around its concentrator plant, thereby acting as a potential source of contamination of natural waters and soil of the place.

The objective of this work was to characterize this waste material from the physical-chemical and mineralogical point of view. A com-

posite sample from tailing was reduced by quartering until get suitable fraction of material to apply following techniques: granulometric analysis, Optical Emission Spectroscopy of Inductively Coupled Plasma (ICP-OES), X-Ray Fluorescence (FRX) and X-ray diffraction (XRD). The mineralogical characterization was carried out by optical microscopy of reflected light.

The chemical analysis revealed the presence of Pb (> 1%), Zn (952 ppm), Fe (1.8%) and precious metals such as Au (3.8 ppm) and Ag (60 ppm). The qualitative mineralogical characterization showed the existence of several sulfides such as galena, sphalerite, pyrite and iron oxides and hydroxides in abundance. The major phases of minerals were determined by XRD. Preliminary results indicate that this material could be a potential generator of acid drainage; therefore, further studies are recommended in this regard.

Keywords: mining waste, tailings, characterization.

INTRODUCCIÓN

Mina La Estancia, se encuentra ubicada en el Cerro La Estancia del departamento Pringles de la Provincia de San Luis a 32°47' latitud S y 66°02' longitud O y 1500 msnm. Dista aproximadamente 60 km al NNE de la ciudad capital y 4,5 km al NE del pueblo La Carolina. La Estancia ha sido caracterizada como un yacimiento hidrotermal, donde se ha reconocido la presencia de importantes cantidades de minerales sulfurados como piritita, esfalerita, galena, marcasita, entre otros, además de oro y plata [1].

Inicialmente, la mina fue habilitada para la explotación de oro hacia fines del siglo XIX. A lo largo de su historia tuvo varios períodos intermitentes de trabajo, e incluso en diversas oportunidades se la intentó reactivar para el beneficio de minerales de plomo, hasta mediados del siglo XX, cuando cesaron definitivamente estos esfuerzos [1].

Hoy en día, se encuentran en el lugar diversos pasivos ambientales derivados de estas antiguas explotaciones. En cercanías de los vestigios de su planta concentradora es posible reconocer una acumulación de minerales molidos (relaves) que yace a escasos metros del arroyo La Estancia. Esta situación es riesgosa desde el punto de vista ambiental, dado que los relaves que contienen minerales sulfurados cuando son expuestos a condiciones ambientales (aire y agua) se oxidan rápi-

damente. La oxidación de piritita (frecuentemente sulfuro mayoritario) y de otros minerales sulfurados puede producir drenaje ácido de mina o de roca (DAM o DAR). Estos drenajes se caracterizan por presentar bajos valores de pH, lo que ocasiona la solubilidad y movilidad de metales [2, 3, 4]. Por tal motivo, los DAM son considerados una de las fuentes de contaminación más severas que produce la industria minera.

El objetivo de este trabajo es realizar la caracterización fisico-química y mineralógica de estos relaves. A partir de los resultados obtenidos, se espera poder contribuir en el conocimiento de las características que tiene este material a fin de poder discernir si los mismos han generado drenajes ácidos de minas (DAM), o bien, si aún son potencialmente peligrosos desde el punto de vista ambiental.

TECNICAS EXPERIMENTALES

Diversas muestras fueron tomadas de zonas superficiales del relave, todas ellas se unificaron para constituir una muestra compósito de 8 kg aproximadamente. En el laboratorio, la muestra fue homogenizada y cuarteada en sucesivas etapas hasta obtener fracciones de material suficiente para aplicar cada una de las técnicas que se describen a continuación:

Análisis químico: se realizó una digestión total de la muestra y luego se determinaron las concentraciones de sus elementos mediante Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). Este procedimiento fue realizado por personal de la empresa Alex Stewart, en la ciudad de Mendoza.

Análisis granulométrico: la curva de distribución granulométrica fue efectuada empleando tamices correspondientes a las mallas: 16, 20, 30, 40, 70, 140, 170, 200, todos ellos pertenecientes a la serie ASTM.

Fluorescencia de rayos X (FRX): las muestras se prepararon y analizaron de acuerdo a las condiciones descriptas en [5]. Las determinaciones fueron realizadas en un Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X (FRX) dispersivo en longitudes de onda; Marca Philips, modelo PW1400.

Difracción de rayos X (DRX): se realizó la identificación de fases cristalinas mayoritarias. Las determinaciones fueron realizadas en un Difractómetro de rayos X (DRX) Marca Rigaku, modelo Ultima IV.

Análisis mineralógico: Se efectuó mediante conteo modal de acuerdo a las propiedades ópticas descriptas en [6]. El conteo constó de un total de 1100 puntos efectuados bajo microscopía de luz transmitida y reflejada utilizando un microscopio hexaocular Leica DMR-XP. Mediante esta técnica se pudo determinar las especies minerales presentes tanto de mena como de ganga.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el análisis granulométrico del relave muestran que aproximadamente el 60% del material presenta un tamaño inferior a 0,1 mm (malla 170) y cerca del 30% es menor a 74 micrones (malla 200). La presencia de una importante proporción de partículas pequeñas supone al menos dos situaciones de riesgo ambiental: por un lado, éstas podrían ser arrastradas más fácilmente hacia zonas inundables (aguas abajo) y producir contaminación en áreas más extensas en comparación con las de mayor tamaño en un ambiente fluvial; y por el otro, que estas partículas tienen una relación superficie/volumen relativamente grande; esto hace que las mismas sean cinéticamente más propensas a oxidarse, y a liberar elementos contaminantes al medio, que las de mayor tamaño [7]. La figura 1 muestra la curva de distribución granulométrica obtenida para el relave de mina La Estancia.

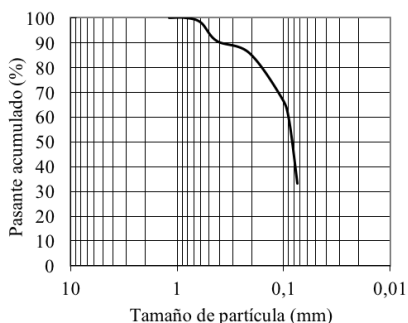


Figura 1. Curva de distribución granulométrica para el relave de mina La Estancia

La composición química de los relaves depende principalmente de la mineralogía del cuerpo mineralizado, de los procesos extractivos que se hayan utilizado para efectuar la separación económica de los metales, de la eficiencia de esta separación y del grado de meteorización ocasionado durante su almacenamiento [7]. En nuestro caso de estudio el análisis químico determinó la presencia de Pb (> 1%), Zn (952 ppm), Fe (1,84%), Cu (46 ppm), Cr (72 ppm), As (415 ppm), S (1,01%), Al (0,81%), Ca (0,15%), K (0,5%), Mg (0,05 %), Mn (51 ppm), Na (0,02%), P (199 ppm), Au (3,84 ppm) y Ag (60,1 ppm). Al efectuar un análisis comparativo de la composición química reportada para diez relaves de distintas partes del mundo se observa que varios elementos (Fe, Al, Ca, K, Mg, Mn, entre otros) resultan comunes y con cierta abundancia en la composición de relaves. También se pone de manifiesto que la composición química del relave de mina La Estancia se destaca por la abundante presencia de Pb, Ag y Au. Respecto de estos contenidos metálicos, sólo se encontraron valores similares de Pb en un relave en Grecia y de Ag en Virginia (USA). Si bien, la información reportada en literatura para el Au es bastante escasa; se halló que la concentración de este metal en La Estancia es muy superior (0,7 vs 3,8 ppm) a la encontrada en un sitio similar ubicado en San Luis de Potosí, México [7].

En cuanto al espectro cualitativo obtenidos mediante fluorescencia de rayos X se detectó la presencia de: Fe, Mn, K, Ti, Pb, As, Cu, Au, Zn, S, Si y Al. Entre los resultados más relevantes se destaca la importancia del K, el cual es coincidente con la génesis de la caolinita. Este es un mineral secundario cuyo origen puede estar asociado a las condiciones de oxidación experimentadas por los minerales acumulados en los relaves. Asimismo, los picos correspondientes a Pb y As podrían estar asociados a la presencia de escorodita y plumbojarosita (ambos minerales secundarios que presentan en su estructura Pb y As) [7]. Durante la formación de este tipo de minerales es frecuente que ciertos contaminantes (metales y metaloides) se alojen en la estructura de los mismos, o bien se adsorban sobre su superficie [8].

La figura 2 muestra el difractograma obtenido por DRX para el relave de mina La Estancia. Entre las fases cristalinas encontradas se observa la presencia de: azufre (S_8), jarosita, cuarzo, plumbojarosita, montmorillonita y galena.

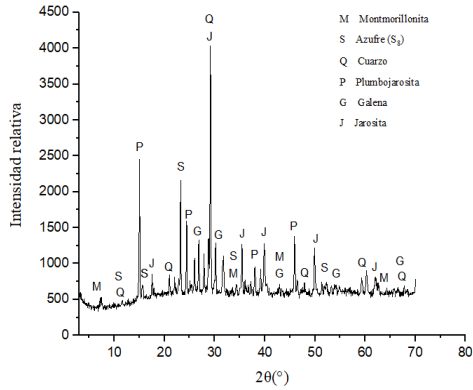


Figura 2. Análisis efectuado por DRX para el relave de mina La Estancia

La tabla 1 presenta los resultados obtenidos para el análisis mineralógico efectuado por conteo modal.

Tabla 1. Resultados obtenidos en el conteo modal de minerales presentes en el relave de mina La Estancia

Minerales	Puntos	Porcentajes
Huecos	247	22,46%
Caolinita	460	41,81%
Cuarzo	103	9,36%
Carbonato	68	6,18%
Muscovita	54	4,91%
Esfalerita	45	4,10%
Plagioclasa	29	2,64%
Anfiboles	24	2,18%
Feldespato potásico	14	1,27%
Galena	14	1,27%
Granate	12	1,09%
Sericita	7	0,65%
Hematita	6	0,54%
Pirita	6	0,54%
Anglesita-Cerusita	5	0,45%
Grafito	4	0,37%
Zircón	2	0,18%
Total	1100	100%

De acuerdo a estos resultados se evidencia la presencia de al menos dos grupos de minerales bien diferenciados que podrían resultar

de interés para el propósito de este trabajo: por un lado los minerales secundarios y por el otro los primarios (como los sulfuros).

La pirita, mineral sumamente abundante en este depósito según [1], al ser oxidada por su exposición a la meteorización produce drenaje ácido de mina o roca (DAM o DAR). Los DAM se caracterizan por presentar bajos valores de pH, lo que origina la solubilidad y movilidad de metales [2, 3, 4]. Luego, al producirse variaciones en las condiciones de pH y/o de potencial de óxido-reducción en estos sistemas puede ocurrir la precipitación del Fe y de otros metales dando origen a minerales secundarios. La ocurrencia de estos procesos podría explicar la presencia de los minerales secundarios detectados en este trabajo. Asimismo, algunos reportes dan cuenta que ciertos minerales secundarios se originan justamente a partir de las reacciones de oxidación que ocurren en los depósitos de desechos mineros, e incluyen la formación de minerales que contienen sulfato (como el yeso), oxohidróxidos de Fe(III), como la goethita e hidróxidos hidratados como la jarosita [3, 8, 9]. Asimismo, cabe mencionar la detección de azufre (S_8) en el espectro de DRX. Este compuesto resulta de la disolución de minerales sulfurados, el cual tiende a acumularse, como producto de reacción sólido, en estos sistemas si no hay un mecanismo que permita su oxidación a sulfato, tal como la acción de microorganismos específicos [10].

En cuanto a los minerales primarios se encontró que el contenido de sulfuros en el relave de mina La Estancia (5,9%) es superior a los reportados en trabajos similares: mina La Concordia (entre 0,9 y 2,2%) [9], distrito minero de Touiref en el noroeste de Túnez (menor a 2,4%) [4]. La presencia de pirita en las muestras estudiadas da cuenta que aún podría ser viable su oxidación y consecuente generación de drenaje ácido. No obstante, la detección de carbonatos en el análisis mineralógico podría contribuir a contrarrestar efectos perjudiciales hacia el medioambiente circundante.

CONCLUSIONES

Las técnicas físico-químicas y mineralógicas aplicadas a la caracterización del relave de mina La Estancia permitieron detectar la presencia de metales y metaloides algunos en cantidades muy significativas (concentración de Pb >1%). El análisis granulométrico sugiere que la muestra analizada contiene una proporción importante de partí-

culas con tamaño inferior a 0,1 mm, las cuales podrían ser fácilmente transportadas aguas abajo en este ambiente fluvial. Asimismo, se encontraron minerales primarios (sulfuros) y secundarios (conteniendo sulfato, carbonato, oxo-hidróxidos de Fe(III), e hidróxidos hidratados) en este ambiente. La génesis de algunos minerales secundarios podría haber estado asociada a procesos de oxidación de sulfuros, solubilización y movilización de metales y precipitación. La presencia de pirita en el relave podría generar aguas ácidas, aunque los carbonatos encontrados permitirían compensar en parte efectos nocivos hacia el medioambiente. Para evaluar este alcance sería conveniente profundizar los estudios en laboratorio para establecer el poder de neutralización que podrían aportar estos minerales.

REFERENCIAS

1. M. F. M. Zavalía, M. A. Galliski. “Mineralogía y paragénesis de La Estancia, un depósito epitelmal de la Sierra de San Luis”. *Información Tecnológica*. 39, 39-47. 1994.
2. H. Bouzahzah, M. Benzaazoua, B. Bussiere, B. Plante. “Prediction of acid mine drainage: importance of mineralogy and the test protocols for static and kinetic tests”. *Mine Water and the Environment*. 33, 54-65. 2014.
3. D. K. Nordstrom, D. W. Blowes, C. J. Ptacek. “Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: an update”. *Applied Geochemistry*. 57, 3-16. 2015.
4. M. A. Othmani, F. Souissi, H. Bouzahzah, B. Bussière, E. F. Da Silva, M. Benzaazoua. “The flotation tailings of the former Pb-Zn mine of Touiref (NW Tunisia): mineralogy, mine drainage prediction, base-metal speciation assessment and geochemical modeling”. *Environmental Science and Pollution Research*. 22, 2877-2890. 2015.
5. E. Perino, L. D. Martínez, J. A. Gásquez, J. D’Angelo, M. A. Galliski. “Control de la selección, separación y limpieza de minerales utilizados como guía de prospección geoquímica, mediante análisis por FRX”. *Avances en Análisis por Técnicas de Rayos X*. 10, 113-117, 2000.
6. P. G. Spry, B. L. Gedlinske. “Tables for the determination of common opaque minerals”. *Economic Geology Publishing*, 1987.

7. D. Kossoff, W. E. Dubbin, M. Alfredsson, S. J. Edwards, M. G. Macklin, K. A. Hudson-Edwards. “Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation”. *Applied Geochemistry*. 51, 229-245. 2014.
8. J. A. Galhardi, D. M. Bonotto. “Hydrogeochemical features of surface water and groundwater contaminated with acid mine drainage (AMD) in coal mining areas: a case study in southern Brazil”. *Environmental Science and Pollution Research*. 23, 18911-18927. 2016.
9. A. Kirschbaum, J. Murray, M. Arnosio, R. Tonda, L Cacciabue. “Pasivos ambientales mineros en el noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales”. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 29, 248-264. 2012.
10. M. Vera, A. Schippers, W. Sand. “Progress in bioleaching: fundamentals and mechanisms of bacterial metal sulfide oxidation—part A”. *Applied microbiology and biotechnology*. 97, 7529-7541. 2013.