



XII Congreso Argentino de Geología Económica

28 DE OCTUBRE DE 2020

XII CONGRESO ARGENTINO DE GEOLOGÍA ECONÓMICA

“MINERÍA SOSTENIBLE, MADRE DE INDUSTRIAS”



ACTAS

Raúl E. de Barrio
EDITOR

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEÓLOGOS ECONOMISTAS

28 DE OCTUBRE DE 2020

CARACTERIZACIÓN TEXTURAL, QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE LOS RELAVES MINEROS DE ANDACOLLO, NEUQUÉN. IMPORTANCIA EN FUTURAS ESTRATEGIAS PARA SU REVALORIZACIÓN

Cintia G. CORDERO^{1*}, Gisela PETTINARI^{1,2} Alejandra GIAVENO^{1,2} y M. Josefina PONS^{3,4}

1: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue (FAIN-UNCo). Buenos Aires 1400 (8300), Neuquén, Argentina

2: PROBIEN-CONICET-UNCo. Buenos Aires 1400 (8300), Neuquén, Argentina

3: Universidad Nacional de Río Negro, Río Negro, Argentina.

4: Centro Patagónico de Estudios Metalogenéticos, Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología – CONICET, Río Negro, Argentina

*: cordero.cintia@gmail.com

ABSTRACT

TEXTURAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF THE MINING TAILINGS OF ANDACOLLO, NEUQUÉN. IMPORTANCE IN FUTURE STRATEGIES FOR ITS REVALUATION. Andacollo is the only mining district in the Neuquén province, Argentina where metal values are produced. During all the years of exploitation, mineral wastes were generated. At the beginning, the waste was disposed of in natural depressions and later in dikes built specifically for this purpose. Both old and newer tailings contain minerals and trace elements that escaped the concentration processes, which were carried out in the past through amalgamation with mercury and concentration by flotation in the most contemporary treatments. In this work, both materials (old and recent tailings) were characterized textural, chemically and mineralogically. This characterization allowed to defining that both tailings do not produce acid drainage, that elements of economic interest could be recovered from the old tailings and that the composition of the recent tailings could be compatible to manufacture construction materials (masonry and road works) and as macro and micronutrients for soil amendments.

Keywords: MINING - TAILINGS - PYRITE – RECYCLED

INTRODUCCIÓN

Luego de procesar el mineral de interés en una planta de tratamiento, se produce un relave o cola compuesta principalmente por partículas finas de minerales de ganga, roca de caja, pequeñas cantidades de mena que escapan del proceso de beneficio, reactivos residuales y agua (Sinche González, 2007), que son depositados en diques de cola construidos para tal fin como una práctica recomendada por la normativa minera vigente. En el pasado, estos relaves se acumulaban en depresiones naturales y en la actualidad conforman pasivos ambientales mineros. La reutilización y/o revalorización de los relaves, constituye en la actualidad uno de los principales desafíos para esta actividad productiva, no solo por el reaprovechamiento económico de elementos remanentes, sino por la remediación de pasivos ambientales mineros existentes. Al igual que en otras partes del mundo, la actividad minera en Argentina no escapa a esta problemática ambiental y en este trabajo se evalúa el estado de los relaves generados en el norte de la provincia del Neuquén, producto de la explotación principalmente de oro y plata.

La mayoría de los yacimientos y manifestaciones auríferas de la provincia del Neuquén se localizan en el distrito minero Andacollo, estudiado y explorado desde finales del siglo XIX hasta la fecha. El distrito minero se caracteriza por sus depósitos hidrotermales de oro, plata

y polimetálicos de plomo, zinc y cobre, principalmente en forma de vetas y escasamente en mantos, con desarrollo de brechas y stockworks así como también oro diseminado de baja ley en los pórfidos cuarcíferos (Rovere et al., 2004). Aunque son varios los recursos minerales del sector, es la producción de oro y plata la actividad extractiva metalífera principal.

La explotación de las vetas Sofía-Julia Valencia fue llevada a cabo de manera discontinua desde 1930 a 1946 por parte de pirquineros, empresas privadas (Selección Minera, Minera Huaraco S.R.L., entre otras), o cooperativas de mineros regionales hasta que en el año 1998 CORMINE S.E.P. se hace cargo de la explotación sistemática del yacimiento otorgando la concesión a diferentes empresas mineras privadas. Durante toda la historia de explotación de estos yacimientos se generaron colas o relaves que fueron dispuestos en diferentes localizaciones dentro del área de producción. Desde el inicio de las faenas y hasta los primeros años del siglo XXI, los desechos generados en las diferentes etapas de procesamiento de minerales fueron dispuestos en depresiones naturales en sectores aledaños al emprendimiento. Estas depresiones naturales están limitadas por tres taludes (TA, TB y TC) y contienen relaves, que en este trabajo denominaremos "Relaves antiguos", los cuales fueron generados durante la explotación y concentración del mineral de oro por amalgamación con mercurio proveniente de las minas Julia y Sofía (Danieli et al. 1999). Estas vetas son ricas en sulfuros (hasta 30% del volumen total de roca) y están compuestas por múltiples vetas y venillas superpuestas, cuyos minerales identificados en orden de abundancia son pirita, marcasita, esfalerita, galena, pirrotina, calcopirita, arsenopirita, oro nativo, argentita, molibdenita, bornita, covellina, digenita y como minerales de ganga: cuarzo, calcita, sericita, clorita, dolomita, ankerita, epidoto, trazas de rutilo, titanita, albita y alúmino-fosfatos de elementos de tierras raras (Conedera, 2019; Mendiberri et al., 2019).

Con los nuevos contratos de concesión, la empresa que llevaba a cabo la explotación minera, realizó pruebas metalúrgicas, modificaciones en la planta de tratamiento de concentración por flotación (IIA, 2002) y la construcción de un dique de relaves nuevo (RN), que contiene desechos provenientes de la planta de tratamiento y concentración, y que denominaremos en este trabajo "Relaves Recientes". Estos relaves fueron generados durante el procesamiento de los minerales provenientes de las vetas Sofía, Julia, Valencia y de las minas Buena Vista y San Pedro (explotaciones recientes). Estas dos últimas son pobres en sulfuros (<10% del volumen total de roca) y están compuestas por pirita, arsenopirita, galena, calcopirita, polibasita-pearceita, argentita, tetraedrita, plata nativa, electrum, covellina en ganga de: cuarzo, sericita, clorita, calcita y rutilo (Conedera, 2019; Mendiberri et al., 2019).

El objetivo de este trabajo es brindar, por primera vez, una caracterización textural, química y mineralógica de los relaves antiguos y recientes del distrito Andacollo para detectar y cuantificar elementos mayoritarios y trazas, determinar sus características granulométricas y su potencial neto de neutralización, que servirán como base para establecer futuras estrategias viables de reutilización y remediación.

METODOLOGÍA

Para realizar el estudio se recolectaron muestras de relaves de los diques antiguos (TA, TB y TC) y del dique de operaciones recientes (RN). Sobre los diques antiguos se trazaron grillas y se seleccionaron al azar 5 puntos de muestreo superficiales (0,15 m de profundidad) con el objeto de obtener una única muestra compuesta por dique. Asimismo, se seleccionó un punto específico sobre cada talud para la recolección de 3 muestras en profundidad, excepto en el talud B, donde se recolectó una única muestra debido a que su profundidad fue menor (TA1: 0,6 m, TA2:1,8 m, TA3: 2,4 m, TB1: 0,7 m, TC1:1m, TC2:1,5 m y TC3: 2,3 m). Sobre el dique de operaciones recientes, se tomaron 2 muestras al azar, una en la descarga de la planta (RN1) y otra en el coronamiento del dique (RN2). Asimismo, se analizó una muestra del material de entrada a la planta de tratamiento (ME) y una muestra del mineral concentrado por flotación (MC) (Fig. 1). Las muestras fueron acondicionadas para llevar a cabo los siguientes análisis: a) Análisis

cuali-cuantitativo por Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X, b) Análisis mineralógicos por Difracción de Rayos X (DRX), c) Determinación química de metales y metaloides, utilizando Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma acoplado (ICP-MS), realizado en el laboratorio Alex Stewart Argentina S.A. d) Microscopía óptica de minerales transparentes y opacos y e) Ensayo de predicción de Drenaje Ácido de Mina (DAM) mediante la “Prueba estática modificada de Balance ÁCIDO-BASE” (PM-ABA), de acuerdo a la metodología establecida en la Norma Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003.

Asimismo, se realizaron diagramas de concentración de multielementos a partir de análisis químicos de elementos mayoritarios y trazas expresados en partes por millón (ppm). En estos diagramas se plotearon las composiciones de las muestras extraídas de los relaves antiguos y recientes, del material de entrada y del concentrado por flotación generado en la planta de tratamiento. Para su comparación también se plotearon en forma de campos las composiciones químicas (ICP-MS, ICP-ES, y ensayo a fuego para el Au, Alex Stewart Argentina S.A.) de muestras de subsuelo de las vetas San Pedro (n=23) y Sofía Julia (n=29) realizados durante la campaña de exploración de empresa MAG S.A., en los años 2007- 2008.



Fig. 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el dique nuevo y en los diques antiguos

RESULTADOS

Los materiales de los relaves presentaron en general una textura franco limosa/franco arcillo limosa, compuestos por fracciones granulométricas de tamaño (200-0,2 micrómetros), la densidad real promedio fue de 3,7 a 2,7 g.cm⁻³ y la porosidad fue de 48-59%. El pH en pasta arrojó valores promedio entre 7,98 y 7,78, mientras que la conductividad eléctrica registrada fue entre 2,5 y 2,4 dS/m. Por otro lado, los relaves más recientes, presentaron una textura mayormente arenosa con tamaños de partícula entre 0,5 y 2 mm, mientras que la densidad real fue en promedio de 2,6 g.cm⁻³ y la porosidad de 54%. El pH en pasta registrado para este material fue de 8,42 y la conductividad eléctrica de 0,54 dS/m.

Mineralogía de relaves antiguos

La composición mineralógica determinada por DRX de los relaves antiguos fue similar en todas las muestras analizadas a diferentes profundidades, con un predominio de cuarzo, illita, yeso, feldespato, trazas de clorita, pirita, arsenopirita y calcopirita (Fig. 2), mientras que los análisis microscópicos ópticos realizados en la fracción de mayor tamaño (0,03-1,5mm) confirmaron la presencia de fragmentos de cuarzo, calcita, pirita, calcopirita, esfalerita, hematita y trazas de goethita y covellina.

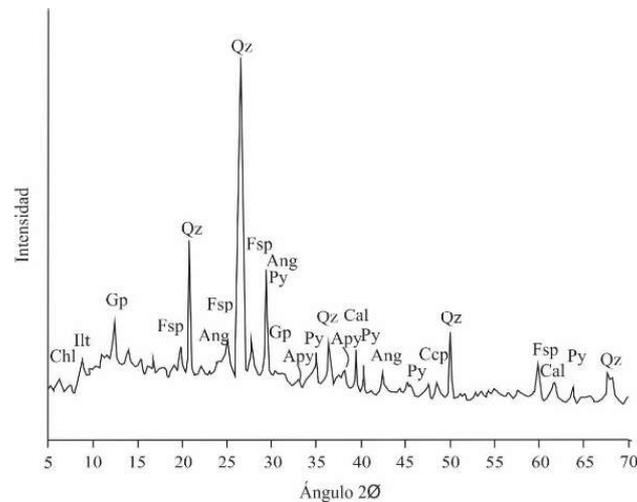


Fig. 2. Diffractograma de rayos X de una muestra de relave antiguo (TB70). Ang: anglesita; Apy: arsenopirita; Cal: calcita; Ccp: calcopirita; Chl: clorita; Qz: cuarzo; Ilt: illita; Fsp; feldespato; Gp: yeso Py: pirita.

Mineralogía de relaves modernos

El análisis mineralógico realizado sobre las muestras de relaves recientes (RN1 y RN2), permitió determinar la presencia de: cuarzo, calcita, anglesita, feldespato y trazas de jarosita, en orden decreciente de abundancia relativa (Fig. 3). La calcita identificada es un mineral secundario producto del agregado de cal durante la estabilización de los relaves. Otros minerales secundarios precipitados en estos relaves identificados son anglesita por la oxidación de la galena y trazas de jarosita por la oxidación de trazas de pirita (Dold, 2010).

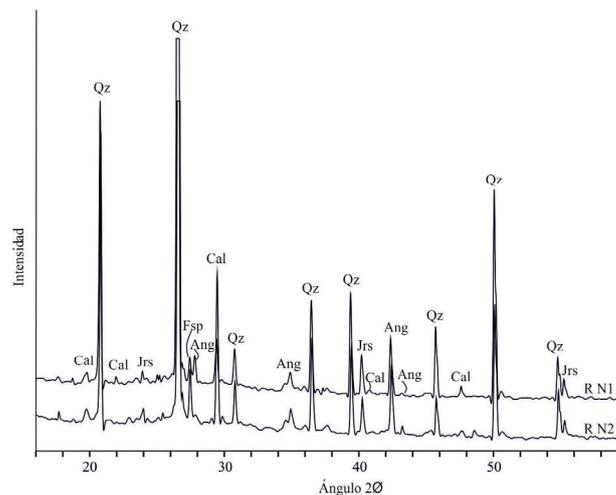


Fig. 3. DRX de relaves recientes (RN1 y RN2). Ang: anglesita; Cal: calcita; Qz: cuarzo; Fsp: feldespato; Jrs: jarosita.

Mineralogía del material de entrada y del producto concentrado por flotación

El análisis mineralógico por difracción de rayos X roca total realizado sobre el material de entrada a la planta de concentración evidenció la presencia de cuarzo, feldespato, pirita, calcita, micas y galena en orden decreciente de abundancia. Por su parte el concentrado generado por flotación mostró altas concentraciones de pirita, galena, anglesita y cuarzo, trazas de mica y feldespato. La eficiencia del proceso de concentración por flotación se observa en el incremento en la intensidad relativa de las reflexiones de pirita y galena entre el material concentrado respecto al material de entrada (Fig. 4)

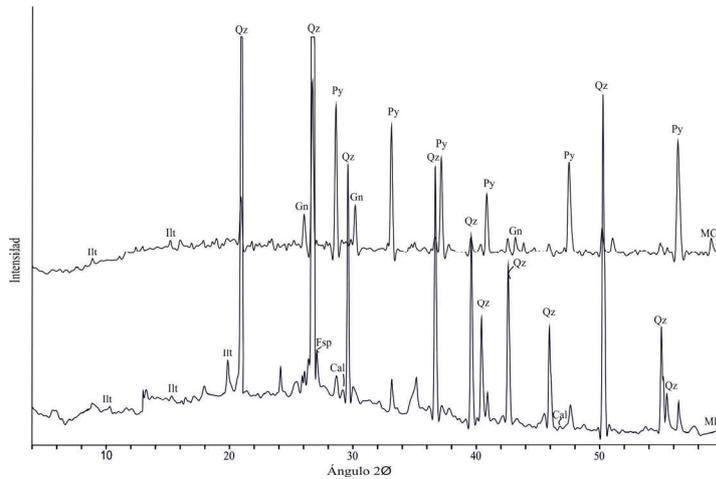


Fig. 4. DRX de material de entrada (ME) y mineral concentrado (MC). Ang: anglesita; Cal: calcita; Qz: cuarzo; Fsp: feldespato; Gn: galena; Ill: illita y Py: pirita.

Diagramas de Concentración Multielementos

Los diagramas de concentración de multielementos están integrados en la Fig. 5 y muestran las altas anomalías en Au, Ag, Zn, Cu y Sb en los relaves antiguos donde algunos valores llegan a presentar concentraciones que se solapan con el campo composicional de las vetas. Al, Mg, K, Ca, Mn y P están enriquecidos con respecto al concentrado. En el caso de los relaves recientes se destaca los menores valores en Ag, Zn, Cu y Sb con respecto a los relaves antiguos. Los elementos mayoritarios se encuentran en concentraciones similares a las vetas.

Se realizó un análisis de los coeficientes de correlación entre los diferentes elementos analizados en todas las muestras donde se define como correlación perfecta: mayor a 0.8, buena entre 0.6 y 0.8, regular entre 0.4 y 0.6. Se observó correlación perfecta positiva entre K y Al y entre Ca y Mg seguramente debido a la presencia de sericita en el primer caso y dolomita, calcita asociada con clorita en el segundo caso.

También dieron una correlación positiva buena entre Ag, Zn, Pb y Sb y entre estos elementos y As. Buena a perfecta entre estos elementos con Cd (posiblemente esté en la esfalerita). La correlación mala negativa entre Ag y Au indica que ambos metales se encuentran en diferentes fases minerales. Una correlación buena a regular positiva se dio entre Fe y Cu, Ag, Zn, Pb, Sb, As, Hg, Cd, Co y Mo. La buena correlación entre Mo con Fe, S, Cu y Sb indica que el Mo está en la molibdenita y posiblemente asociado a la pirita y a la tetraedrita.

Ensayo de Predicción de Drenaje Ácido de Mina (PM-ABA)

Cuando se comparó el potencial máximo de producción de acidez (PA) de los sulfuros y el potencial máximo de neutralización (PN) asociado a los minerales alcalinos, para obtener el potencial de neutralización neto (PNN), se observó que las muestras analizadas arrojaban un valor de PNN >1,2, por lo tanto, los relaves estudiados son potencialmente no generadores de drenaje ácido según la norma de referencia (NOM-141-SEMARNAT-2003). Se puede inferir que los relaves antiguos y recientes contienen suficiente cantidad de carbonatos para neutralizar la acidez producto de la oxidación de los sulfuros del material.

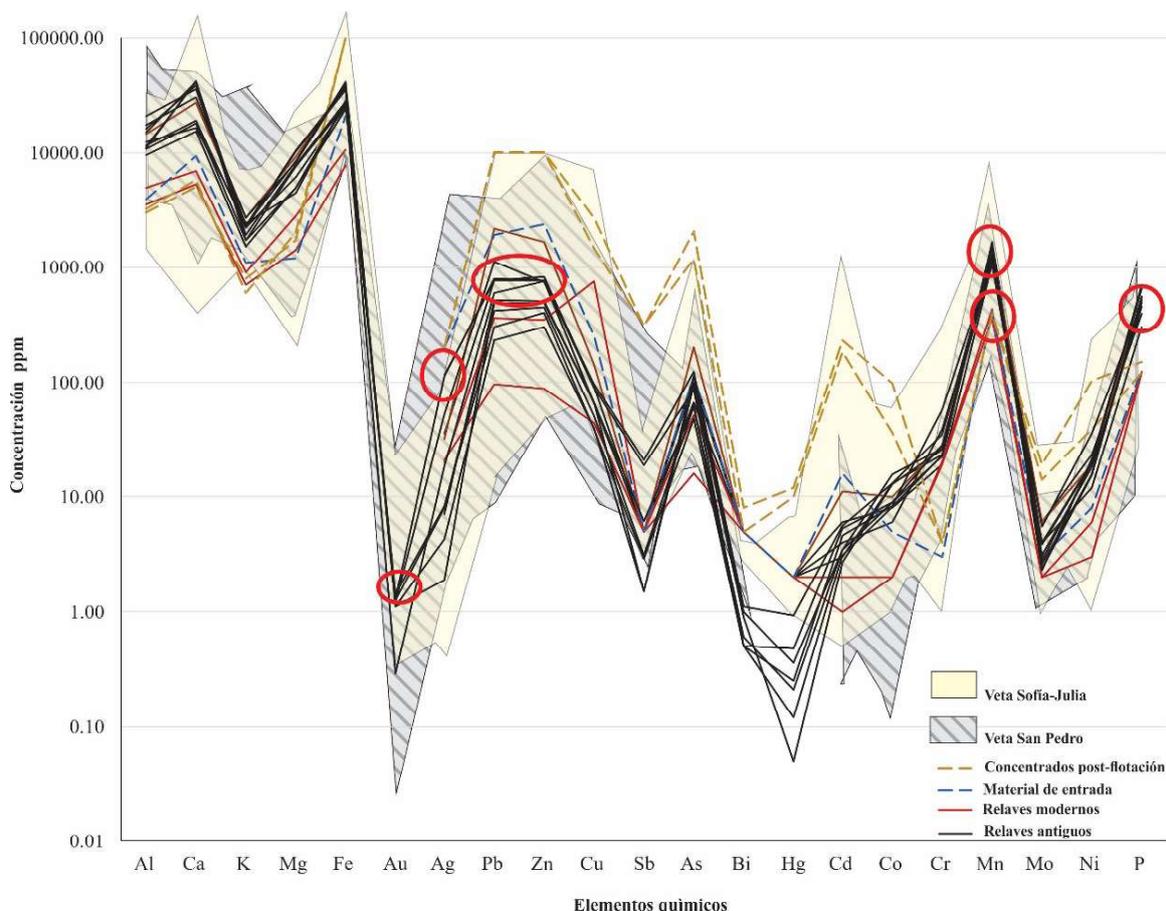


Fig. 5. Diagrama de concentración de elementos mayoritarios y trazas. Las circunferencias rojas marcan las principales anomalías de metales.

CONSIDERACION FINALES

De esta caracterización fisicoquímica, se evidencia la diferente composición de ambos relaves, debido fundamentalmente a las distintas metodologías de concentración empleadas y a la composición mineralógica de las vetas explotadas oportunamente.

El bajo contenido de metales detectados en los relaves más recientes demuestra que la metodología de concentración por flotación fue más eficiente en la recuperación de elementos de interés. Por otra parte, los relaves antiguos provenientes del procesamiento de los materiales concentrados por amalgamación con mercurio todavía presentan anomalías significativas de metales como Au, Cu, Zn y Ag que podrían ser recuperados en el futuro.

Los patrones similares en las curvas de concentración de elementos observados tanto en las vetas como en los relaves, indicarían que no hubo movilidad diferencial de metales en los relaves. Por otro lado, en los relaves antiguos, la ganga rica en carbonatos provenientes de las vetas Sofía, Julia-Valencia, impidió la formación de drenaje ácido por la neutralización del pH del sistema (Dold, 2010). Por su parte en los relaves nuevos, con menores aportes de estas vetas y con mayores aportes de vetas más silíceas (ricas en cuarzo), se requirió la incorporación de hidróxido de calcio durante la disposición final de estos relaves, lo cual impidió también que el pH del medio disminuya a pesar de la presencia de cantidades trazas de Jarosita detectada que es indicadora de generación de ácido (Dold, 2010).

Adicionalmente, la ausencia de DAM se confirmó a partir de las pruebas de balance "ÁCIDO-BASE" (PM-ABA) realizadas sobre los relaves antiguos y recientes, hallándose en todos los casos valores del potencial neto de neutralización (PNN) mayores a 1,2.

Los resultados obtenidos permitirían concluir que los relaves antiguos podrían ser

utilizados para la obtención de metales de interés económico, mientras que los relaves nuevos podrían ser empleados para la fabricación de materiales de construcción (mampostería y obras viales) y como macro y micronutrientes para enmiendas de suelos.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa CORMINE S.E.P. por su autorización y colaboración. A la Universidad Nacional Río Negro (UNRN2019-40-A-788 y PI UNRN-2018 40-A-697) y a la Universidad Nacional del Comahue (PI-04220) que financiaron parcialmente este proyecto.

REFERENCIAS

- Conedera, M. 2019. Caratterizzazione mineralógica e tessiturale delle vene epitermali A Au-Ag (Zn, Pb, Cu) Di San Pedro, Distrito di Andacollo, Argentina. Tesis de Maestría in Geología e Geología técnica, p. 130.
- Danieli, J. C., Casé, A. M. y Deza, M.A. 1999. El distrito minero de Andacollo, Neuquén. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1349-1364, Buenos Aires.
- Dold, B. 2010. Basic concepts in environmental geochemistry of sulfide mine-waste management. In: Sunil Kumar (Ed.) "Waste Management", ISBN 978-953-7619-84-8.SCIYO.com open Access publications. 173-198.
- Giaveno, A., Cordero, C., Ulloa, R., Chiacchiarini, P., Pettinari, G., Rueda, M. y Donati, E. 2010. Evaluación preliminar de los relaves generados por la actividad minera Andacollo-Neuquén y predicción de DAM en el sitio. X Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales. Salta, Argentina, octubre de 2010.
- I.I.A. Informe de Impacto Ambiental, minera Andacollo Gold S.A. 2002. Proyecto Andacollo: Univ. Nac. del Comahue. Fac. de Ing. Asentamiento Universitario Zapala.
- NOM-141-Semarnat 2003. Oficial Mexican Norm that establishes the procedures for tailings characterization, as well as specifications for site preparation, project, construction, operation and post-operation of tailings piles. secretary of environment and natural resources, México, D. F México, 29 pp.
- Mendiberri, J., Pons M., J., Arce M. 2019. Alteración hidrotermal y mineralógica de las vetas Sofía-Julia-Valencia, Andacollo, Neuquén. XIII Congreso de Mineralogía Petrología Ígnea y Metamórfica, y Metalogénesis, Córdoba, p. 335-336
- Rovere, E.I., Caselli, A., Tourn, S., Leanza, H.A., Hugo, C.A., Folguera, A., Escosteguy, L., Geuna, S., González, R., Colombino, J. y Danieli, J.C. 2004. Hoja Geológica 3772-IV. Andacollo, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 298, Buenos Aires. 104 pp.
- Sinche González, M. 2007. Evaluación del comportamiento ambiental de los contaminantes en residuos sólidos mineros metalúrgicos (RSM) por el método de extracciones secuenciales y aplicación de modelos de movilidad y transporte. Revista del instituto de investigaciones FIGMMG. Vol. 10 N° 19,78-86. ISSN impreso: 1561-0888, ISSN electrónico: 1628-8097.