PRESENTACIÓN DE CURSO DE POSGRADO

Curso de posgrado sobre Minería: Legislación, Geología y Manejo Responsable

Directora y Responsable del curso: Dra. Josefina Plaza Cazón (Inv. Adjunto CONICET-CINDEFI-CCT-La Plata)

Cuerpo Docente

Dr. Gonzalo Castañeda Nordmann
Geol. Gonzalo Mauro de la Hoz
Dra. Natalia Marchevsky
Dra. Camila Castro
Dra. Josefina Plaza Cazón
Ing. Matías González

1. Fundamentación

La actividad minera metalífera históricamente y hasta los años 1990 estuvo presente en el territorio argentino con un desarrolló intermitente y a pequeña escala salvo excepciones como mina El Aguilar (Jujuy) y Farallón Negro (Catamarca), que siguen en actividad hasta la fecha. En 1993 con la sanción de la Ley 24.196 de Inversiones Mineras, se garantizó estabilidad tributaria y fiscal a los inversores por un periodo de 30 años, motivando un crecimiento sostenido y continúo en la exploración, impulsando el estudio de más de 350 proyectos y posibilitando la puesta en marcha de otros.

En los últimos 5 años en la Argentina 21 yacimientos se encontraban o encuentran en producción, de los cuales 6 se consideran depósitos tipo World Class (Bajo La Alumbrera, Cerro Vanguardia, Veladero, Cerro Negro, Salar del Hombre Muerto y Olaroz). Es importante destacar que el 48% de estos proyectos fueron descubiertos luego del cambio legislativo de 1993 que fomentó la exploración minera e impulso la puesta en producción de 16 de los 21 proyectos (76%), dado que solo el 14% registraba producción previa.

Aparte de estos 21 yacimientos debemos mencionar que hay 15 proyectos mineros, que se encuentran en etapa de construcción o factibilidad y 12 son depósitos nuevos que fueron descubiertos a partir de la década del ’90, evidenciando la importancia de la exploración minera en los últimos 30 años. Entre estos proyectos se debe destacar los que se encuentra en la provincia de Salta, como Lindero, Taca Taca, Rio Grande y Salar de Rincón.

De este análisis podemos decir que la ocurrencia de estos 36 depósitos destacados, no solamente están vinculados a factores geológicos, sino también a factores sociales, culturales y políticos de las provincias que están a favor de la minería. Esto permite

asignar posiciones de provincias mineras, donde actualmente Santa Cruz que lidera la actividad y le siguen en menor medida Jujuy, San Juan y Catamarca con yacimientos en producción actual, y su sumamos los proyectos avanzados, Salta se sumaría en un corto plazo como una provincia minera de importancia.

En Salta, Lindero es el primer proyecto metalífero de envergadura que se encuentra en su fase inicial de producción, dando lugar a una nueva etapa minera para la provincia, que tradicionalmente se caracterizó por su enorme potencial en la producción de boratos con los yacimientos de Sijes y Tincalayu. Dentro de los yacimientos más importantes en etapas avanzadas de exploración y prefactibilidad/factibilidad se debe mencionar a Taca Taca, Rio Grande, Diablillos (Proyecto Abra Plata), El Quevar, Salar del Rincón, Salar de Llullaillaco (Proyecto Mariana), Salar de Pozuelos (Proyecto Lítica), Salar de Pastos Grandes (Proyecto Millenial), Salar de Centenario-Ratones (Proyecto Eramet), Salar de Diablillos (Proyecto PLASA-SESA), Salar de Hombre Muerto (Proyecto Posco).

Los metales están presentes en la naturaleza bajo distintas formas químicas y minerales. Para su extracción, usualmente se emplean metodologías tradicionales como la pirometalurgia, hidrometalurgia y electrometalurgia. En las últimas décadas se ha incrementado el interés en el desarrollo de nuevas metodologías extractivas para el reemplazo total o parcial de las metodologías tradicionales con el fin de disminuir el impacto ambiental de los procesos mineros. En esta línea se encuentra la biominería, que comprende una serie de procesos microbiológicos que pueden ser utilizados para la recuperación de metales a partir de los minerales. En el caso de minerales sulfurados de baja ley, la biominería es claramente más rentable y con menor impacto ambiental. Dentro de estas metodologías se destacan dos tipos de operaciones diferentes: la biolixiviación y la biooxidación. En el primer caso, la acción de los microorganismos sobre el mineral provoca la disolución de la sustancia de interés. Mediante esta tecnología pueden recuperarse metales como cobre, cobalto, cinc, níquel, uranio, etc. En la biooxidación la acción microbiana se utiliza para disolver las especies que ocluyen a una especie de interés. Es aplicada principalmente para la recuperación de oro y plata, que generalmente se encuentran ocluidos en matrices de sulfuros como pirita o arsenopirita. En ambos procesos los microorganismos solubilizan los metales esencialmente a través de ataques oxidantes y/o ácidos. Estos microorganismos presentas algunas características en común: son acidófilos; toleran altas concentraciones de metales y son quimiolitotróficos, es decir, utilizan compuestos inorgánicos para su crecimiento además de fijar CO_2 de la atmósfera.

El mayor beneficio de la biominería es que evita la producción de relaves, que son los desechos tóxicos de los procesos mineros. Asimismo, evita la emisión de vapores tóxicos a la atmósfera, utiliza menos agua y requiere menor inversión de capital que los métodos

convencionales. Hoy en día la biominería es una biotecnología establecida y aplicada mundialmente, su desarrollo representa un gran paso para reducir los costos asociados a la producción de metales y, también, para continuar avanzando en la protección de nuestros recursos naturales.

Por otro lado, todas las actividades metalíferas generan drenajes ácidos de minas (DAM) y desechos mineros (colas de mineral, escombreras, etc).

El drenaje ácido de minas (DAM) es agua ácida que se genera en ambientes mineros, posee pH entre 2 – 4 y elevadas concentraciones de metales que pueden resultar tóxicos para el medio ambiente circundante. La oxidación de pirita (FeS_2) ante la presencia de oxígeno, agua meteórica y bacterias es el principal mecanismo responsable de la generación de acidez en el agua, la liberación de metales y su puesta en solución.

En presencia de bacterias acidófilas (existentes a pH < 7) acelera la oxidación de pirita se ya que aumenta la cinética de la reacción que en comparación con la oxidación abiótica, es mucho más rápida. Debido a que en los procesos de beneficio mineral la pirita tiene nulo interés económico, hay un aumento de su concentración en los desechos mineros. Así, el DAM se genera principalmente en escombreras y diques de colas, pero también en open pits, labores subterráneas y pilas de stock.

Los casos de DAM en el Noroeste de nuestro país corresponden principalmente a minas fuera de actividad y que fueron explotadas desde tiempos coloniales hasta la década de 1990 aproximadamente. Se trata de minas de pequeña escala donde se extraían metales base primordialmente (Pb-Ag-Zn) como la Mina Concordia, la Planta de Tratamiento La Poma y la Mina Pan de Azúcar que se ubican en la Puna de Salta y Jujuy.

Entre las prácticas de manejo sustentable de los drenajes ácidos de minas (DAM) se encuentran las prácticas de prevención, de remediación y de reuso y recuperación de recursos. Las prácticas de prevención implican suprimir uno de los factores que intervienen en la generación de DAM tales como la disponibilidad de O_2, H_2O y/o microorganismos. Las barreras de oxígeno es una de las técnicas más empleadas para la limitar la disponibilidad de O_2 a los desechos mineros ricos en sulfuros. La actividad microbiana es otro factor se debería suprimir esto puede lograrse mediante la aplicación de bactericidas, los más usados son los surfactantes o detergentes y los ácidos orgánicos. Mientras que en las prácticas de remediación de DAM se emplean bacterias sulfato reductoras (SRB por sus siglas en inglés). Estas bacterias producen sulfuro de hidrogeno por reducción del SO_4^{2-}. Los sulfuros producidos reaccionan con los metales solubles en el DAM, precipitando como sulfuros metálicos, al mismo tiempo los H^+ del DAM reaccionan con los OH^- y HCO_3^- aumentando el pH. Otro sistema altamente efectivo para la remoción de metales pesados y sulfatos son los wetlands o humedales construidos.

Lamentablemente éste último sistema no puede ser aplicado para la remediación de DAMs en ambientes áridos o semiáridos.

Dentro de las tecnologías de remediación, la fitorremediación, permite la biorrecuperación de ambientes naturales previamente contaminados con xenobióticos, utilizando la capacidad metabólica de los microorganismos (bacterias, hongos, levaduras y algas) y algunas plantas, en presencia de oxígeno y nutrientes suministrados para acelerar los procesos de biodegradación natural. En síntesis, es un proceso que utiliza organismos vivos y sus aptitudes metabólicas para eliminar o neutralizar los contaminantes del ambiente, con mucha aplicación en sitios contaminados con metales pesados (MP). Para comprender esta tecnología es sumamente importante conocer los efectos de los contaminantes sobre el medio ambiente y especialmente sobre las plantas. Los principales efectos nocivos de los MP sobre las plantas son la inactivación de las proteínas por alteración de su estructura (desnaturalización), el desplazamiento de los elementos esenciales por los metales no esenciales, generando deficiencias y estrés oxidativo. Las plantas han desarrollado diferentes mecanismos para tolerar el estrés que generan los MP. En este sentido, algunas plantas adoptan estrategias de exclusión para evitar la absorción excesiva. Estas plantas usualmente acumulan concentraciones relativamente bajas de metales en sus tejidos, aunque crezcan en suelos altamente contaminados. Las raíces de otras plantas secretan compuestos orgánicos que pueden ligar los metales en el suelo y reducir la absorción de las células radicales. Otras plantas pueden retener los metales en las paredes celulares de la raíz, reduciendo así su traslocación a la parte aérea. Algunas otras pueden absorber cantidades elevadas de metales y transportarlos a los tallos, los iones metálicos son detoxificados por compartimentalización vacuolar o acomplejados con ligandos orgánicos, como ácidos orgánicos, aminoácidos y péptidos, los cuales pueden reducir la toxicidad. A través de la formación de estos complejos las plantas regulan la entrada y transporte o detoxifican el metal y toleran determinados contenidos en orgánulos intracelulares.

Teniendo en cuenta el contexto actual y futuro minero Argentino, es necesario formar profesionales para abordar y dar soluciones a problemas productivos mineros y de contaminación ambiental durante las diferentes etapas de explotación minera e inclusive durante el cierre y post cierre de la mina.

2. Objetivos del Curso

• Conocer el sistema jurídico y legal de la actividad minera
• Tener un panorama de la situación actual de la minería en Argentina.
• Acceder a información sobre los avances en tecnologías limpias para la obtención de metales pesados de interés económico
• Obtener herramientas prácticas para su aplicación en estudios de laboratorio y/o campo en biominería y tratamiento de residuos mineros
• Contribuir a que el participante tenga los conocimientos teóricos y prácticos para realizar un diagnóstico y evaluación de la contaminación ambiental minera
• Ilustrar en la aplicación de los conocimientos teóricos-conceptuales y las herramientas técnicas en casos concretos de estudios de minas activas y/o inactivas locales
• Despejar dudas con respecto a la minería como actividad productiva y ambientalmente sustentable

3. Contenidos

TEMA 1: Sistema jurídico y legislación asociado a la Minería

Contenidos: Caracteres especiales del derecho minero. Introducción. Conceptos legales que se deben conocer. Trámites de Concesión Minera. Cómo se adquiere una mina o una cantera?. Normativa minera nacional y provincial. Repaso de las mismas y principales obligaciones del minero. Trámites del Estudio de Impacto Ambiental y Social en Minería. Normativa Ambiental. Negocio y Contratos Mineros. Normativa específica de litio en Argentina y en Salta. Desafíos a futuro.
Docente a cargo: Dr. Gonzalo Castañeda Nordmann

TEMA 2: Geología Minera, etapas de la actividad minera, desde el descubrimiento al cierre de mina. Situación de la Minería metalífera en Argentina

Contenidos: Situación actual de la minería metalífera en la República Argentina. Geología Minera. Etapas de la actividad minera; Exploración, construcción, producción y cierre de mina. Diques de cola y botaderos. Tratamiento y beneficio de minerales: lixiviación y flotación. Control de estériles. Minerales generadores de ácido y neutralizadores de acides. Pruebas predictivas; Test NAG (Net Acid Generation) y ANC (Acid Neutralizing Capacity). Diseño y planificación de botadores. Cierre de mina y rehabilitaciones de botaderos. Historia del litio, usos y aplicaciones. Yacimientos y distribución del litio en el planeta. Génesis de los salares y depósitos de litio asociados a salmueras. Condiciones hidrogeológicas de la Puna balance hidrológico. Métodos de tratamiento y beneficio para la obtención de carbonato de litio. **Docente a cargo:** Geol. Gonzalo Mauro de la Hoz

TEMA 3: Geoquímica y mineralogía de los desechos mineros y generación de drenaje ácido de minas

Contenidos: Diferencias entre drenaje ácido de roca o natural y drenaje ácido de minas. Mineralogía de los desechos mineros. Clasificación de desechos mineros (diques de colas, escombreras) y sus principales características. Metodología de muestreo de desechos mineros. Drenaje ácido de minas y procesos de transporte de metales en solución acuosa. Metodología de muestreo de DAM. Potencial de acidez de desechos mineros y predicción. Movilidad de metales en ríos y agua subterránea en áreas afectadas por la actividad minera. El modelado geoquímico de DAM. Diferentes procesos de obtención de litio.
Docente a cargo: Dra. Natalia Marchevsky

Tema 4: **Biominería: los microorganismos en la extracción de metales**

Contenidos: Utilización de metales. Metales en la naturaleza. Tratamiento de minerales metalíferos: metodologías tradicionales. Biominería: historia y fundamentos. Procesos biomineros: biolixiviación y biooxidación. Mecanismos globales. Microorganismos involucrados en procesos biomineros. Características generales. Estrategias de búsqueda y selección de microorganismos mineros en ambientes nativos. Cinéticas de crecimiento sobre hierro y sobre azufre. Mecanismos de acción microbiana. Interacción microorganismo-mineral. Tipos de tecnologías empleadas para la recuperación de metales utilizando microorganismos. Procesos irrigados y tanques agitados. Aplicaciones comerciales biomineras. Microorganismos aislados de los salares vinculados al litio y sus posibles aplicaciones en la biominería. .
Docente a cargo: Dra. Camila Castro

Tema 5: Manejo Responsable de los Desechos Mineros y Tratamiento de drenajes ácidos de minas.

Contenidos: Diferentes prácticas de manejo sustentable de DAM. Prácticas de Prevención. Prácticas de Remediación. Prácticas de reuso, recuperación de recursos. Prácticas de prevención. Barreras de oxígeno. CCBE capillary barrier effect. Diferentes ejemplos de barreras de difusión del oxígeno. Ventajas y desventajas de su aplicación. Prácticas de prevención. Bactericidas. Surfactantes, detergentes, compuestos orgánicos. Efectos en el crecimiento en medio líquidos de *Acidithiobacillus ferroxidans*. Efectos en la formación de biofilms. Bactericidas de origen biológicos. Casos de aplicación. Ventajas y desventajas. Prácticas de Remediación de DAM. Aplicación de microorganismos para la remediación de DAM. Bacterias Sulfato Reductoras (SRB): características generales de crecimiento. Descripción del proceso de producción de sulfuro de hidrógeno y alcalinidad por las SRB y su importancia en la remoción de metales pesados de DAM. Casos concretos de aplicación

de SRB en la bioprecipitación de metales pesados. Ventajas y Desventajas. Prácticas de Remediación de DAM. Aplicación de biosorción para la remediación de DAM. Qué es la biosorción?. Ventajas y Desventajas de la biosorción. Sistemas Wetlands. Definición de Wetlands. Diferentes tipos de sistemas Wetlands. Clasificación de acuerdo a características hidráulicas. Clasificación de acuerdo a las características del agua residual. Cómo funciona un sistema Wetlands?. Procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en un sistema Wetlands. Parámetros medir para evaluar su funcionamiento. Casos concretos de aplicación de un sistema Wetlands. Ventajas y Desventajas. Prácticas de reuso y recuperación de recursos mineros.
Impactos ambientales de la exploración/explotación minera de litio en los humedales y recursos hídricos de la Puna Argentina.
Docente a cargo: Dra. Josefina Plaza Cazón

Tema 6: Restauración de sitios contaminados con metales pesados
Fitorremediación

Contenidos: Introducción: Efecto de la contaminación por metales pesados en las plantas. Biorremediación y Fitorremediación: ventajas, limitaciones y aplicaciones. Tipos de fitorremediación: fitoextracción, rizofiltración, fitotransformación, fitodegradación, fitoestimulación, fitoestabilización. Estrategias de las plantas utilizadas en programas de fitorremediación. Uso de plantas y microorganismos para limpiar suelos contaminados: consorcios microbianos. Efecto de la contaminación por metales pesadas en plantas. Características de las plantas utilizadas, determinaciones y muestreo. Estrategias de fitorremediación usadas en Argentina y el mundo, casos de estudio. La minería del litio, un caso particular. Análisis de los principales impactos ambientales que genera ésta actividad en sus diferentes etapas. Caracterización del ambiente para la valoración de estos impactos. Posibles acciones para reducir o remediar los impactos.
Docente a cargo: Ing. Matías González

4. Bibliografía

Ali, H., Khan, E., Sajad, M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications Chemosphere 91, 869–881.

Alonso, R.N. 2020. Reflexiones en torno a la Ciencia y Filosofía de la Minería, complejidad, esencialidad y singularidad de la actividad minera. 288p. Mundo Editorial. Salta – Argentina.

Alpers, C.N., Nordstrom, D.K. 1999. Geochemical modeling of water-rock interactions in mining environments. In Reviews in Economic Geology, vol. 6A, The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A. Processes, Methods and Health Issues, G.S.Plumlee and M.J. Logsdon, eds., Soc. Econ. Geol., Littleton, CO, 289-324.

Baniasadi, M., Vakilchap, F., Bahaloo-Horeh, N., Mousavi, S.M., Farnaud, S. 2019. Advances in bioleaching as a sustainable method for metal recovery from e-waste: A review, Journal of Industrial and Engineering. Chemistry 76, 75-90.

Bernal, M.P., Gómez, X., Chang, R., Arco-Lázaro, E., Clemente, R. 2019. Strategies for the use of plant biomass obtained in the phytostabilisation of trace-element-contaminated soils. Biomass and Bioenergy, 126, 220-230.

Bernardelli, C.E., Maza, S.N., Lecomte, K.L., Collo, G., Astini, R.A., Donati, E.R. 2021. Acidophilic microorganisms enhancing geochemical dynamics in an acidic drainage system, Amarillo River in La Rioja, Argentina. Chemosphere (ISSN: 0045-6535) 263, 128098. DOI: doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128098.

Bitew, Y., Alemayehu, M. 2017. Impact of crop production inputs on soil health: A Review. AsianJournal Plant Science, 16(3), 109-131.

Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Weisener, C.G., Paktunc, D., Gould, W.D., Johnson, D.B. 2014. The geochemistry of acid mine drainage, In Treatise on Geochemistry, 2nd ed., vol. 11, Sherwood-Lollar, B., ed., Elsevier, Amsterdam, 131-190. https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00905-0

Bustillo-Revuelta, M. López-Jimeno, C. 1996. Recursos Minerales. Tipología, prospección, evaluación, explotación, mineralurgia e impacto ambiental. Ed. Gráficas Arias Montana. Madrid.

Carolin, C.F., Kumar, P.S., Saravanan A., Joshiba, G.J., Naushad, M. 2017. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: a review. J Environ Chem Eng 5 (3):2782–2799.

Castro, C. Vera, M., Donati, E.R., Sand, W. 2013.Visualization of attachment and colonization of pyrite surfaces by a novel species of Acidianus. Advanced Materials Research 825, 70-73.
Castro, C., Donati, E.R. 2016. Effects of different energy sources on cell adhesion and bioleaching of a chalcopyrite concentrate by extremophilic archaeon Acidianus copahuensis. Hydrometallurgy 162, 49-56.

Castro, C., Donati, E.R. 2016.Improving zinc recovery by the thermoacidophilic archeon Acidianus copahuensis using thetrathionate. Transactions of Nonferrous Metals Society of China 26, 3004-3014.

Castro, C., Urbieta, M.S., Plaza-Cazón, J., Donati, E.R. 2019. Metal biorecovery and bioremediation: Whether or not thermophilic are better than mesophilic microorganisms. Bioresource Technology 279, 317-326.

Castro, C., Zhang, R., Liu, J., Bellenberg, S., Neu, T., Sand, W., Donati, E., Vera, M. 2016 Biofilm formation and interspecies interactions in mixed cultures of thermoacidophilic archaea Acidianus spp. and Sulfolobus metallicus. Research in Microbiology 167, 604- 612.

Catalano, E. 1997. Código de minería comentado. Ed. Zavalia. Buenos Aires.

Comité Conjunto de Reservas de Mena de "The Australasian lnstitute of Mining and Metallurgy 1999. El Código JORC (Código de Australasia para informar sobre Recursos Minerales y Reservas de Mena. Australian lnstitute of Geocientists. Mineral Council of Australia. www.jorc.org/pdf/CodigoJORC.pdf.

Das, S., Mazumdar, K. 2016. Phytoremediation potential of a novel fern, Salvinia cucullata, Roxb. Ex Bory, to pulp and paper mill effluent: physiological and anatomical response. Chemosphere 163:62–72

Dhawi, F., Datta, R., Ramakrishna, W. 2015. Mycorrhiza and PGPB modulate maize biomass, nutrient uptake and metabolic pathways in maize grown in mining impacted soil. Plant Physiol. Biochem. 97, 390-399.

Dold, B., 2003. Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulfide mine waste. Journal of Geochemical Exploration 80, 55–68. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(03)00182-1

Dold, B., 2010. Basic concepts in environmental geochemistry of sulfide mine-waste management. In: Kumar, S. (Ed.), Waste Management, pp. 173-198. http://www.intechopen.com/books/show/title/waste-management

Dold, B., 2014. Evolution of Acid Mine Drainage formation in sulphidic mine tailings. Minerals 4 (2), 621-641. https://doi.org/10.3390/min4030621

Dold, B., 2017. Acid Rock Drainage Prediction - a critical review. J. Geochem. Explor. 172, 120-132. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.09.014

Dold, B., Fontboté, L. 2001. Element cycling and secondary mineralogy in porphyry copper tailings as a function of climate, primary mineralogy, and mineral processing. Journal of Geochemical Exploration 74, 3–55. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(01)00174-1

Donati, E. R. (Ed.). 2018. Heavy Metals in the Environment: Microorganisms and Bioremediation. CRC Press.

Donati, E.R., Castro, C., Urbieta, M.S. 2016.Thermophilic microorganisms in biomining. World Journal of Microbiology and Biotechnology 32, 179-187.

Gentina, J.C.; Acevedo, F. 2016.Copper Bioleaching in Chile. *Minerals 6*, 23.

Heckenroth, A., Rabier, J., Dutoit, T., Torre, F., Prudent, P., Laffont-Schwob, I. 2016. Selection of native plants with phytoremediation potential for highly contaminated Mediterranean soil restoration: tools for a nondestructive and integrative approach. J. Environ. Manage. 183, 850-863.

Jerez, C.A. 2017. Biomining of metals: how to access and exploit natural resource sustainably. Microb. Biotechnol. 10, 1751-7915.

Johnson, D.B. 2018. The Evolution, Current Status, and Future Prospects of Using Biotechnologies in the Mineral Extraction and Metal Recovery Sectors. *Minerals 8*, 343.

Johnson, D.B., Aguilera, A. 2019. Extremophiles and Acidic Environments. Reference Module in Life Sciences. 206-227. doi:10.1016/b978-0-12-809633-8.90687-3.

Kumar, D., Singh, D.P., Barman, S.C., Kumar, N. 2016. Heavy metal and their regulation in plant system: an overview. In Plant responses to xenobiotics (pp. 19-38). Springer, Singapore.

Lavandaio, E. 2008. Conozcamos más sobre Minería. SEGEMAR. Serie de Publicaciones 168. Buenos Aires - Argentina.

Lecomte, K.L., Maza, S.N., Collo, G., Sarmiento, A.M., Depetris, P.J. 2017. Geochemical behavior of an acid drainage system: the case of the Amarillo River, Famatina (La Rioja, Argentina). Environmental Science and Pollution Research. 24(2): 1630-1647. DOI: 10.1007/s11356-016-7940-2.

Maest, A., Nordstrom, D.K. 2017. A geochemical examination of humidity cell tests, Appl. Geochem. 81, 109-131. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.03.016

Marcet, P. 2010. Mitos y verdades sobre la Minería. Revista Todo es Historia. Nº 511.

Mendez, V. Colón, H. 2005. La Minería Madre de Industrias, es una Actividad Sostenible. Asociación Argentina de Geólogos Economistas. Buenos Aires – Argentina.

Meuser, H. 2013. Soil Remediation and Rehabilitation: Treatment of Contaminated and Disturbed Land. Environmental Pollution, vol. 23. Springer Science Business Media, Dordrecht, The Netherlands.

Murray, J., Kirschbaum, A., Dold, B., Mendes Guimaraes, E., Pannunzio Miner, E. 2014. Jarosite versus Soluble Iron-Sulfate Formation and Their Role in Acid Mine Drainage Formation at the Pan de Azúcar Mine Tailings (Zn-Pb-Ag), NW Argentina. Minerals 4, 477–502. https://doi.org/10.3390/min4020477

Murray, J., Nordstrom, D.K., Dold, B., Kirschbaum, A. 2021. Seasonal fluctuations and geochemical modeling of acid mine drainage in the semi-arid Puna region: the Pan de Azúcar Pb-Ag-Zn mine, Argentina. Journal of South American Earth Sciences. 103197. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103197.

Nguyen, T.H, Won, S., Ha, M-G, Nguyen, D.D., Kang, H.Y. 2021. Bioleaching for environmental remediation of toxic metals and metalloids: A review on soils, sediments, and mine tailings. Chemosphere 282, 131108.

Nordstrom, D.K. 2015. Baseline and premining geochemical characterization of mined sites, Appl. Geochem. 57, 17-34. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.12.010

Nordstrom, D.K., Blowes, D.W., Ptacek, C.J. 2015. Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: An update, Appl. Geochem. 57, 3-16. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.02.008

Nordstrom, D.K., Nicholson, A., Weinig, W., Mayer, U., Verburg, R., Maest, A. 2017. Geochemical modeling for characterization and remediation of mine sites, ADTI (Acid Drainage Technology Initiative) handbook vol. 4, SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration), Englewood, CO, 159 pp.

Novitzky, A. 1978. Prospección, exploración y evaluación. 735 p. Buenos Aires – Argentina.

Pandey, V.C., Bauddh, K. (Eds.). 2018. Phytomanagement of Polluted Sites: Market Opportunities in Sustainable Phytoremediation. Elsevier.

Pat-Espadas, A.M., Portales, R.L., Amabilis-Sosa, L.E., Gómez, G., Vidal, G. 2018. Review of Constructed Wetlands for Acid Mine Drainage Treatment Water, 10: 1685.

Plaza Cazón, J., González, E., Donati, E. 2021. *Parastrephia quadrangularis*: A possible alternative to inhibit the microbial effect on the generation of acid mine drainage. Mine Water and the Environment Journal, 40:994–1002.

Plaza Cazón, J., Benítez, L.; Murray, J., Kirshbaum, P., Donati E. 2020. Influence of Extremophiles on the Generation of Acid Mine Drainage at the Abandoned Pan de Azúcar Mine (Argentina). Microorganisms, 281(9), 1-17.

Plaza-Cazón, J, Benitez, L., Viera, M., Donati, E. 2012. Equilibrium and kinetic study of the biosorption of chromium (III) by two brown algae: Macrocystis pyrifera and Undaria pinnatifida. Eng Life Sci 12: 95–103.

Plaza-Cazón, J., Benítez, L., Murray, J., Kirschbaum, A., Kirschbaum, P., Donati, E. 2013 Environmental impact on soil, water and plants from the abandoned Pan de Azúcar Mine. Advances in Materials Research 825:88–91.

Plaza-Cazón, J., Viera, M., Donati, E. 2013a. Dynamic Cr(III) uptake by Macrocystis pyrifera and Undaria pinnatifida biomasses. Electronic Journal of Biotechnology 16. doi: 10.2225/vol16-issue3-fulltext-8.

Plaza-Cazón, J., Viera, M., Donati, E., Guibal, E. 2011. Biosorption of mercury by Macrocystis pyrifera and Undaria pinnatifida: Influence of zinc, cadmium and nickel. Journal of Environmental Sciences 23:1778–1786.

Plaza-Cazón, J., Viera, M., Donati, E., Guibal, E. 2013b. Zinc and cadmium removal by biosorption on Undaria pinnatifida in batch and continuous processes. Journal of Environmental Managment 129: 423–434.

Plaza-Cazón, J., Viera, M., Sala, S., Donati, E. 2014. Biochemical characterization of Macrocystis pyrifera (Linnaeus) C. Agardh and Undaria pinnatifida (Harvey) Suringar (Phaeophyceae) in relation to their potentiality as biosorbents. Phycologia 53: 100–108.

Prieto, M. J., Acevedo, S. O. A., Prieto, G. F., Nallely, T. G. 2018. Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals.Biodiversity Int J,2(4), 362-376.

Rambabu, K., Banat, F., Pham, Q.M., Ho, S.H., Ren, N.Q., Show, P.L. 2020.Biological remediation of acid mine drainage: review of past trends and current outlook. Environmental Sciences and Ecotechnology 2:100024.

Rezaie, B., Anderson, A. 2020. Sustainable resolutions for environmental threat of the acid mine drainage. Sciences of the Total Environment 717:137211.

Rosa, M., Prado, F., Hilal, M., Pagano, E., Prado, C., 2014. Phytoremediation: Strategies of Argentinean Plants Against Stress by Heavy Metals.

Rossello, E. Marcet, P. 2009. La Actividad Extractiva de Minera Alumbrera (Catamarca), Datos sobre su Impacto Ambiental. Buenos Aires – Argentina.

Ruscitti, M. 2017. La micorrización modifica la respuesta de las plantas de pimiento en presencia de cobre en el suelo (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas).

Schalamuk, I. B., Sabio, D., Mendía, J. 1992. Incidencia de la actividad minera sobre el medio ambiente. Rev. Asoc. Arg. de Geol. Economistas. no 9. Buenos Aires.

Srichandan, H., Mohapatra, R.K., Parhi, P.K. Mishra S. 2019. Bioleaching approach for extraction of metal values from secondary solid wastes: A critical review. Hydrometallurgy 189, 105122.

Tulcanaza, E. 1992. Técnicas geoestadísticas y criterios técnico-económicos para la estimación y evaluación de proyectos mineros. Edic. Estudios Mineros. Chile.

Watling, H. 2016. Microbiological Advances in Biohydrometallurgy. *Minerals 6*, 49.

Watling, H.R. 2015. Review of Biohydrometallurgical Metals Extraction from Polymetallic Mineral Resources. *Minerals 5*, 1-60.

Welmer, F.W., Dalheimer, M. Wagner, M. 2008. Economic Evaluations in exploration. Segunda Edición Springer; Berlín Heidelberg.

Willis, G., Nancucheo, I., Hedrich, S., Giaveno, A., Donti, E., Barrie Johnson, D. 2019.Enrichment and isolation of acid-tolerant sulfate-reducing microorganisms in the anoxic, acidic hot spring sediments from Copahue volcano, Argentina. FEMS Microbiology Ecology. doi: 10.1093/femsec/fiz175.

Wills, B. 1988. Mineral Processing Technology. Pergamon Press. Oxford. England.

Yang, L., Zhao, D., Yang, J., Wang, W., Chen, P., Zhang, S., Yan, L. 2019. Acidithiobacillus thiooxidans and itspotential application. Applied Microbiology and Biotechnology https://doi.org/10.1007/s00253-019-10098-5.

Zhang, M., Wang, H. 2017. Utilization of Bactericide Technology for Pollution Control of Acidic Coal Mine Waste. Advances in Engineering Research, 129: 667-670.