

Estudio sobre la generación de drenaje ácido y metalífero en los yacimientos de oro en Minas de Corrales, Rivera, Uruguay

Arduin Rode, Fiorella; farduin@fcien.edu.uy; Pereyra Ortiz, Noelia; npereyra@fcien.edu.uy;

Orientadora: Morales Demarco, Manuela; mmorales@fcien.edu.uy;

Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias,
Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Resumen

La actividad de las industrias extractivas, como lo es la industria minera, genera impactos ambientales de diversa índole. Uno de los posibles impactos nocivos está relacionado con la gestión del agua y es la generación de drenaje ácido y metalífero de minas (DAM), causado por oxidación de sulfuros metálicos, especialmente de pirita (FeS_2), el cual es tóxico en diverso grado para el medio ambiente. Los yacimientos en Minas de Corrales, al norte de Uruguay, son explotados desde finales del siglo XIX para la extracción de oro asociado a pirita. El potencial de generación de DAM de estos yacimientos se ha estudiado desde la empresa minera y controlado por la autoridad ambiental de Uruguay. La falta de estudios académicos sobre esta temática motivó la realización de una investigación en el marco del Programa de Apoyo a la Investigación Estudiantil (PAIE), en el cual se llevó a cabo un monitoreo de aguas asociadas a la actividad extractiva. En éste, se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad y temperatura, y se tomaron muestras para análisis hidrogeoquímicos, dentro y fuera del emprendimiento minero. Los cuerpos de agua seleccionados fueron naturales y artificiales, los naturales consisten en los principales arroyos, cañadas y lagunas, y los artificiales en las represas de sedimentación, de relave, de agua fresca y el agua acumulada en las distintas minas. Adicionalmente, se recolectaron y describieron muestras de roca de las litologías más representativas de la zona de estudio. Tanto los resultados de análisis hidrogeoquímicos como de los parámetros fisicoquímicos descartan la existencia de DAM para estos yacimientos.

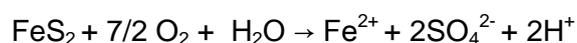
Palabras clave: minería, drenaje ácido y metalífero, medio ambiente, Minas de Corrales.

Introducción

La minería es una de las actividades humanas con gran potencial de generar diversos impactos ambientales en todos los componentes del medio. El agua debido a su susceptibilidad a la contaminación y su interrelación con todos los demás componentes es el que mayor atención requiere. Esto se debe a sus propiedades físico-químicas, que determinan que diversos materiales (metales, iones, coloides, sedimentos, etc.) pasen a solución. Una vez en solución, estos pueden transportarse por distancias kilométricas, extendiendo el halo de contaminación.

En el caso de la minería, uno de los posibles impactos nocivos está relacionado a la gestión del agua, es la generación de drenaje ácido y metalífero de minas (DAM). Este es generado debido a la oxidación de sulfuros metálicos, especialmente de pirita (FeS_2) (fig.1),[1][FAR2][FAR3] el cual es tóxico en diverso grado para el medio ambiente.

La oxidación de sulfuros metálicos ocurre naturalmente, según la reacción:



Ésta es la principal reacción que produce acidez en el agua, y se ve intensificada en los yacimientos de recursos minerales metálicos y, en especial del mineral pirita (Nordstrom & Alpers, 1999). El DAM, por su bajo pH, puede poner en solución metales y sulfatos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni) además de contener gran cantidad de sólidos disueltos, del orden de varios cientos de miligramos por litro (Aduvire, 2006).



Figura 1: Mineral pirita. Tomado de "Klein, B & Dutrow, B. (2017) "Manual of Mineral Science", 23rd Edition. ISBN: 978-0-471-72157-4. Wiley"

En este tipo de yacimientos la mayor accesibilidad del oxígeno a la pirita, en la mina, escombreras y piletas de relave aceleran el proceso de acidificación ya que aumentan su superficie específica (fig[4] 2) (Oyarzún, 2011). En las dos últimas la superficie específica de la roca original se ve drásticamente aumentada por la extracción y el beneficiamiento del recurso mineral, en este caso del oro (voladuras, trituración, molienda), por lo tanto aumenta la disponibilidad de pirita para la generación de DAM (Nordstrom & Alpers, 1999).



Figura 2: Aumento de la superficie específica[5] por los procesos de remoción de la roca a través de voladura u otros, de trituración y molienda. (Oyarzún et al, 2011)

El área de estudio se localiza en los alrededores de la localidad de Minas de Corrales (fig.[6] 3), departamento de Rivera, Uruguay. Geológicamente se encuentra en la Isla Cristalina de Rivera, en el Terreno Tectono-estratigráfico Nico Pérez (Bossi & Campal, 1992). Ésta porción del basamento forma parte del complejo granulítico Valentines- Rivera (Oyhantçabal et al., 2010). Litológicamente es una asociación bimodal con términos máficos y félsicos que fueron sometidos a metamorfismo de alto grado en facies granulita.

Los yacimientos de Minas de Corrales pertenecen a la provincia mineral o metalogénica más importante del país, que comenzó a ser comercialmente explotada en 1878 por compañías francesas (Furtado, 2014). Según este autor, dos distritos mineros principales existen en esta provincia: Distrito Minero de Minas de Corrales y Distrito Minero de Zapucay. En los yacimientos de Minas de Corrales el oro se aloja en sulfuros, principalmente en pirita, pero también en galena, calcopirita, bornita y covellina (Figueroa, 2014). Como anteriormente explicado, la oxidación y posterior lixiviación de estos minerales tienen el potencial de generar DAM. Sin embargo, no se ha observado que ocurra este fenómeno en ninguna de las minas del área, esto puede ser debido a la ocurrencia de venas de carbonato de calcio y la alteración potásica presente en los yacimientos, que neutralizan el drenaje ácido que se pueda generar.

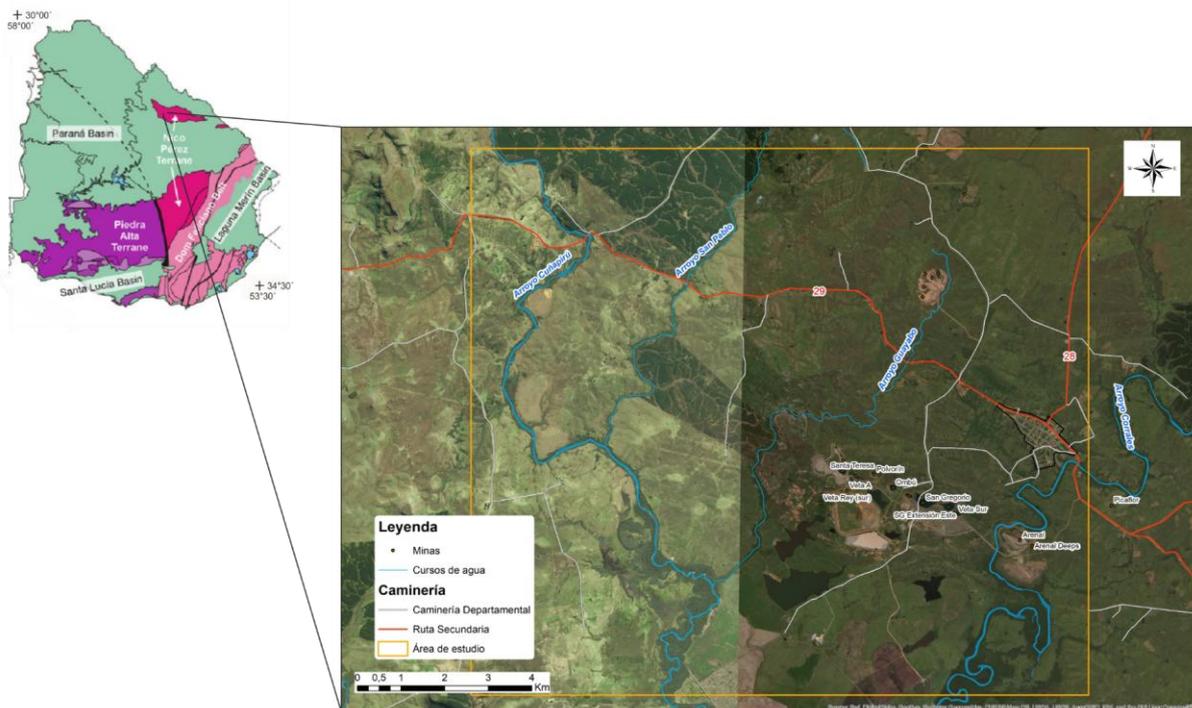


Figura 3: Localización[7] del área de estudio. Minas de Corrales, Rivera, Uruguay. Tomado de (Pereyra Ortiz et al 2017)

Objetivos

El objetivo general es determinar la presencia o no, de drenaje ácido y metalífero de mina en los yacimientos de oro de Minas de Corrales, Rivera, Uruguay.

Los objetivos específicos son determinar los parámetros fisicoquímicos y la hidrogeoquímica de muestras de agua de minas[8][FAR9] y cursos de agua seleccionados. E Identificar las litologías existentes en los yacimientos y caracterizar petrográficamente la ocurrencia de sulfuros metálicos.

Materiales y Métodos

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica que incluyó artículos científicos y publicaciones, así como también libros e informes de casos de existencia de drenaje ácido y metalífero en otros países. En Uruguay no se han encontrado antecedentes académicos de investigaciones asociadas al DAM, únicamente una publicación (Martínez, 2003).

Posteriormente se seleccionaron cuerpos de agua y se establecieron los parámetros fisicoquímicos a medir, los cuales fueron: turbidez, temperatura, pH y conductividad.

Se llevaron a cabo dos salidas de campo en los meses de junio y agosto. La primera constó de dos días, donde se realizaron 14 mediciones de parámetros físicoquímicos de diferentes cuerpos de agua tanto naturales (arroyos y cañadas) como aquellos presentes dentro del complejo minero (represa de sedimentación, piletas de relave). Las mediciones se realizaron mediante tirillas de pH, termómetro, conductivímetro y equipo multiparámetro EXTECH.

La segunda salida de campo constó de tres días donde se relevaron los parámetros físicoquímicos en 6 puntos, únicamente teniendo en cuenta los datos del multiparámetro, ya que es más práctico y confiable. Además, se tomaron cuatro muestras para análisis hidrogeoquímicos de cursos naturales previamente establecidos, localizados aguas abajo del complejo minero. Adicionalmente, se recolectaron muestras de las rocas más representativas de las minas y se describieron en detalle. Los análisis hidrogeoquímicos determinaron la concentración de plomo (Pb), hierro (Fe), calcio (Ca), magnesio (Mg) y aluminio (Al), luego se procesaron los datos obtenidos y se creó una base de datos para rocas y agua.

Resultados y Discusión

Los puntos en los que se relevaron los parámetros físicoquímicos de agua en campo se muestran en la fig. 3 y los valores obtenidos se exponen en la Tabla I.

La turbidez fue definida mediante parámetros cualitativos como se muestra en la figura [MDM10]5. La mayoría de las aguas límpidas corresponden a cuerpos de agua asociados a las actividades mineras dentro del distrito. Las levemente turbias son generalmente más representativas de los cuerpos de agua naturales. Únicamente se relevó un punto con un grado de turbidez alto, que corresponde a una pequeña laguna con alto contenido de materia orgánica.

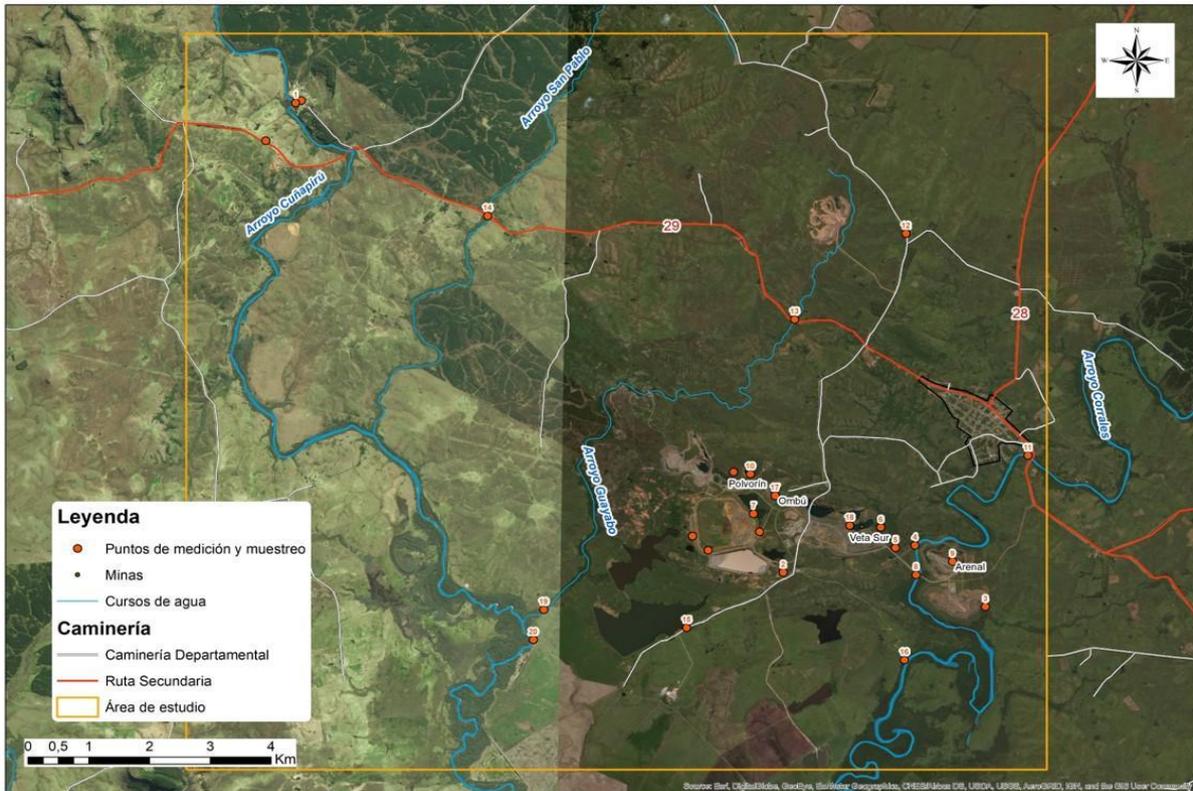


Figura 4: Mapa de puntos relevados



Figura 5: Parámetros cualitativo para determinar turbidez

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina

17, 18 y 19 de octubre de 2018

Los primeros 14 puntos, fueron relevados en el mes de junio en el cual las temperaturas fueron más bajas, y se vio reflejado en la temperatura de las aguas que variaron entre 12,3 y 16,5°C. Los 6 puntos restantes se relevaron a principios del mes de agosto el cual fue más cálido y se vio un incremento en la temperatura, la cual osciló 16,9 y 20,7°C.

El pH presenta valores entre 7,08 y 9,06, los más bajos corresponden a ríos y arroyos, los intermedios a las minas inundadas y el valor más alto se registró en la Laguna Bonita, aguas debajo del complejo minero. Cabe destacar que la misma es utilizada como agua de riego para la producción de arroz.

La conductividad varió entre 28 y 885 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los arroyos, cañadas y lagunas (puntos 1, 2, 4, 5, 8, 11 al 16, 19, 20) presentan valores de 28 a 638 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los cuerpos de agua ubicados en las minas inundadas (puntos 9, 10, 17, 18) presentan valores entre 332 a 522 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El valor más alto se registró en la represa de sedimentación Arenal con 885 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual es esperable ya que esta recibe el agua bombeada directo de las canteras y minas las cuales contienen gran cantidad de sólidos disueltos.

Los resultados de los análisis hidrogeoquímicos se muestran en la Tabla II. Las concentraciones de Pb son bajas menores a 0,02 mg/L. El Fe no supera los 1,5 mg/L. El Ca varió entre 7,2 y 19,6 mg/L. La concentración de Mg se mantuvo entre 6 y 32 mg/L. Todas las muestras presentaron 0,2 mg/L de Al_[MDM11].

Tabla I: Valores de parámetros fisicoquímicos

Nº muestra	Ubicación	Turbidez agua	T (°C)	pH	Cond. (µS/cm)
1	A° Cuñapirú en Represa hidroeléctrica	Levemente turbia	14,4	7,1	42
2	Camino vecinal al lado de represa de relaves 2 (RR2)	Levemente turbia	13,0	7,5	80
3	Represa de sedimentación Arenal	Límpida	15,8	7,9	885
4	Cañada del Barro, desemboca en A° Corrales	Límpida	14,5	7,9	440
5	Cañada Brazo Sur	Límpida	14,3	7,5	638
6	Represa de sedimentación San Gregorio	Límpida	14,8	8,2	461
7	Represa de agua fresca de RR1	Levemente turbia	15,0	7,9	221
8	A° Corrales	Turbia	14,1	8,1	136
9	Mina Arenal	Límpida	12,7	8,4	522
10	Mina Polvorín	Límpida	16,5	8,4	177
11	A° Corrales al E de MdC	Levemente turbia	13,6	7,9	140
12	Lagunita camino mina al N de R29	Turbia	13,3	7,3	28
13	A° Santa Barbara o Guayabo	Levemente turbia	13,0	8,1	120
14	Arroyo San Pablo	Levemente turbia	12,3	7,7	133
15	Laguna Bonita	Levemente turbia	20,7	9,1	177
16	A° Corrales aguas abajo del complejo minero	Levemente turbia	18,4	7,5	137
17	Mina Ombú	Límpida	18,1	8,5	332
18	Mina Veta Sur	Límpida	17,7	8,5	496
19	A° Santa Barbara o Guayabo aguas abajo del complejo minero	Límpida	17,2	7,9	145
20	A° Cuñapiru aguas abajo del complejo minero	Levemente turbia	16,9	7,5	51

Éstos valores caen por debajo de los valores hidrogeoquímicos y pH establecidos en el decreto N°253/79 de normas para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de la contaminación de aguas. Además, se compararon las concentraciones de Ca y Mg con las del agua mineral Salus la contiene 35 mg/L Ca y 9,5 mg/L Mg.

Tabla II: datos de análisis hidrogeoquímicos

Ubicación	Pb (mg/L)	Fe _t (mgFe/L)	Ca (mgCa/L)	Mg (mgMg/L)	Al (mgAl/L)	pH
Laguna Bonita	0,02	0,6	19,6	22	0,2	9,1
Arroyo Corrales	0,01	1,3	14,8	32	0,2	7,5
Arroyo Santa Bárbara	0,01	0,7	16	23	0,2	7,9
Arroyo Cuñapirú	0,01	1,5	7,2	6	0,2	7,5

Posteriormente se realizó una comparación de los datos hidrogeoquímicos con los de Richmond Mine, Tabla III, la cual está ubicada en Iron Mountain, California, Estados Unidos y es un típico ejemplo de un complejo minero con generación de DAM. El pH y las concentraciones de Pb, Fe, Ca, Mg y Al son muy inferiores en Minas de Corrales que en Richmond Mine.

Tabla III: Comparación de datos hidrogeoquímicos de Minas de Corrales con Richmond Mine

Ubicación	Pb (mg/L)	Fe _t (mgFe/L)	Ca (mgCa/L)	Mg (mgCaCO ₃ /L)	Al (mgAl/L)	pH
Laguna Bonita	0,02	0,6	19,6	22	0,2	9,1
Arroyo Corrales	0,01	1,3	14,8	32	0,2	7,5
Arroyo Santa Bárbara	0,01	0,7	16	23	0,2	7,9
Arroyo Cuñapirú	0,01	1,5	7,2	6	0,2	7,5
Richmond Mine (EEUU)	3,6	20300	73,2	821	2210	0,5
	3,8	86200	132	1450	6680	-0,7
	11,9	111000	111,6	437	1420	-2,5
	8,3	68100	177,2	2560	6470	

En tanto a las rocas, se realizaron seis descripciones petrográficas de muestras de mano que se muestran en la Tabla IV. Se hizo especial énfasis en la caracterización de los sulfuros y carbonatos presentes tomando como base los estudios petrográficos realizados por (Figueroa, 2014_[MDM12]).

Tabla IV: Descripción de muestras de roca

Ubicación	Observaciones	Descripción General
Mina Arenal	Félsica 1-PAIE-AR	Roca félsica muy diferenciada de color rosado y deformada con textura nematoblástica. Presenta feldespatos alcalinos, cuarzo, epidoto y máficos. El feldespato tiene una abundancia de 50 %, de grano fino a medio llegando a los 5 mm. Los cristales son subhedrales a anhedral. El Cuarzo se presenta en un 40 % de la muestra, es anhedral, a veces en cristales alargados, formando lentes o ribbons de hasta 4 mm. Los máficos se manifiestan en aglomeraciones o en menor frecuencia diseminados y se encuentran muy alterados y oxidados. El epidoto se presenta como mineral de alteración, en fracturillas y en los minerales máficos.
Mina Arenal	Máfica 2-PAIE-AR	Roca máfica a intermedia de color oscuro de grano fino a medio. Masiva. Se distinguen minerales de anfíbol, plagioclasa y cuarzo, aparecen también micas blancas (moscovita) y venillas de carbonato.
Mina Ombú	Intermedia a Máfica 3-PAIE-OM	Diorita. Roca intermedia a máfica de grano fino a medio, con textura nematoblástica. Plagioclasa, anfíbol, biotita a veces aparece foliada y otras veces masiva. Se distingue calcita en fracturas (de mm, hasta 1 cm). Epidoto y Clorita en fracturas, epidotización y cloritización en toda la roca. Venas o lentes de roca félsica con minerales de feldespato alcalino, cuarzo y biotita. La plagioclasa ocupa el 45 % de la roca tiene un color blanco lechoso, los cristales son subhedrales y se disponen en bastones de hasta 3 mm, se observa una orientación preferencial. El anfíbol tiene un color oscuro verdoso, con una abundancia de 45 %. Los cristales son subhedrales y del mismo tamaño que la plagioclasa. Usualmente están alterados, formando óxidos o sericitizados. Biotita de grano de fino y asociada a máficos.
Mina Veta Sur	4-PAIE-VS	Roca foliada, con bandas ricas en máficos y otras ricas en félsicos. Los máficos son anfíboles, biotita y también hay sulfuros (pirita) asociados a éstos. Los félsicos están compuestos por plagioclasa de color blanco y grano medio y los cristales de cuarzo están estirados formando ribbons, con poca abundancia. Los fenocristales presentan un considerable tamaño de hasta 3 cm de longitud y se encuentran fracturados y rotados.
Mina El Muro	5-PAIE-EM	Roca félsica bien diferenciada color rosada, de grano fino, presenta foliación incipiente y fracturamiento. Feldespato alcalino muy abundante y cuarzos estirados, gran cantidad de pirita que se encuentra oxidada.
Mina Polvorín	6-PAIE-PO	Roca máfica, de grano fino a muy fino. Textura nematoblástica. La roca está recortada por una vena de cuarzo y por fracturillas con carbonato. Presencia de anfíboles, sulfuros, cuarzo en venas, óxidos, carbonatos en venillas y plagioclasa. Anfíboles de grano fino y de color verdoso. Los cristales visibles son euhedrales a subhedrales. Más del 50 % de abundancia. Los sulfuros presentes, son de pirita y se pueden presentar diseminados por toda la roca o frecuentemente asociados a las venas de Cuarzo, tienen un 3 % de abundancia. El carbonato se restringe a fracturillas.

Llama la atención que dándose todas dándose todas las condiciones para que haya generación DAM no lo haya. Seguramente esto se deba a una neutralización natural dada por la disolución de los carbonatos de calcio y magnesio presentes en las rocas, así como también de los feldspatos potásicos presentes en la alteración potásica que se encuentra en diversas litologías del complejo minero.

Según (Martinez, 2003) la disolución de los carbonatos, además de ocurrir en forma simultánea a la oxidación de las piritas, tiene una magnitud equivalente, por lo que no se modifica el pH del cuerpo receptor, o en otras palabras no existe generación de aguas ácidas.

Conclusiones

Los análisis hidrogeoquímicos, así como los parámetros físicoquímicos descartan la existencia de generación de drenaje ácido y metalífero en los yacimientos de oro de Minas de Corrales, Uruguay.

La presencia de minerales carbonáticos y la alteración potásica presente en la geología local, seguramente sean los responsables de neutralizar naturalmente el drenaje ácido

Si bien no fue el objetivo de este trabajo comparar técnicas, las tiras para medición de pH no resultaron ser un método confiable a diferencia del multímetro.

Bibliografía

- Aduvire, O. (2006) Drenaje ácido de mina, generación y tratamiento. Instituto Geológico y Minero de España, Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente
- British Columbia (1989) Acid Mine Drainage Task Force. Acid Rock Drainage Draft Technical Guide, Vol. I and II. Report 66000/2. Prepared for the British Columbia AMD Task Force by SRK, Inc.
- Cernuschi, F. & Morales Demarco, M. (2014) Minería, planificación e impactos medioambientales físico-químicos. Revista Uruguay Ciencia, N°19
- Figueroa, I. (2014) Rasgos y principios geológicos del yacimiento “Arenal Deeps” como base para un modelo de estimación de recursos y reservas a mediano plazo. Trabajo Final de la Licenciatura en Geología.
- Furtado, A. (2014) Modelamiento geológico en 3D del depósito aurífero de tipo orogénico Argentinita, ubicado dentro del Distrito Minero Zapucay, Rivera. Trabajo Final de la Licenciatura en Geología
- Jacobs, JA.; Lehr J. H.; Testa S. M. (2014) Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Solids. Wiley.
- Klein, B & Dutrow. B. (2017) “Manual of Mineral Science”, 23rd Edition. ISBN: 978-0-471-72157-4. 716 pages. Wiley
- Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry (2007) Managing acid and metalliferous drainage. Commonwealth of Australia. ISBN 0 642 72512 8
- Martínez, J., (2003) Generación de aguas ácidas y liberación de metales en una mina de oro, IV Congreso Nacional AIDIS, Punta del Este.
- Nordstrom, D.K. & Alpers, C.N. (1999) Negative pH, efflorescent mineralogy, and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain Superfund site, California Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol. 96, pp. 3455–3462
- Oyarzún, J.; Higuera, P. & Lillo, J. (2011) “Minería Ambiental – Una introducción a los Impactos y su Remediación” Ediciones GEMM - Aula2punto.net
- Pereyra Ortiz, N.; Arduin Rode, F. & Morales Demarco, M. (2017). ¿Existe generación de drenaje ácido y metalífero en los yacimientos de oro de minas de corrales, Uruguay?. Primer Congreso Regional sobre Riesgos Naturales. Montevideo.
- Sanchez Bettucci L, Oyhantcabal P (2008) Tectonic map of Uruguay. American Geophysical Union, Spring Meeting.

Agradecimientos

- A todo el personal de Orosur
- Facultad de Ciencias – Instituto de Ciencias Geológicas
- A la Comisión Sectorial de Investigaciones Científicas – CSIC por la financiación

Financiamiento

Programa de Apoyo a la Investigación Estudiantil - PAIE 2016

Sistema Nacional de Investigadores