



Universidad Nacional de Salta
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

Escuela de Posgrado

AVENIDA BOLIVIA 5150
4400 - SALTA
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL./FAX: 54 -0387 - 4255513

SALTA, 17 de abril de 2015
EXPEDIENTE N° 10075/2015

R-CDNAT-2015 N° 204

VISTO:

Las presentes actuaciones relacionadas con el dictado del Curso de Posgrado, titulado: **"GEOQUIMICA DEL DRENAJE ACIDO DE MINAS (DAM) [O, TIERRA - AIRE - FUEGO - AGUA]"**, en el marco de los cursos programados para el Doctorado en Ciencias Geológicas; y

CONSIDERANDO:

Que el dictado de este Curso estará a cargo del Dr. Kirk NORDSTROM (Servicio Geológico de U.S.) como Director del Curso, con la colaboración de la Dra. Jesica María MURRAY (UNSA-CONICET);

Que se llevará a cabo durante los días 11 al 15 de Mayo de 2015;

Que el presente Curso es de Posgrado, tiene una carga horaria de 40 horas teórico-prácticas;

Que este Curso tiene por objetivo que los participantes adquieran una actualización y aprendizaje de los conceptos básicos sobre los procesos de formación de drenaje ácido de minas, geoquímica, mineralogía secundaria asociada y modelado geoquímico;

Que la metodología de dictado consistirá en clases teóricas, trabajos prácticos realizados en el aula con el uso de softwards específicos (tipo PHREEQC, WATEQ4) para el modelado geoquímico y su aplicación en ejemplos de Pasivos Mineros del NOA. Para la aprobación del curso se requiere 100% de asistencia y aprobar una actividad práctica grupal. El Curso se dictará en Idioma Inglés;

Que está dirigido a Geólogos, Biólogos, Microbiólogos, Ingenieros en Recursos Naturales, Químicos, Ingenieros Químicos, Ingenieros en Minas y profesionales afines. Serán necesarios conocimientos básicos en química general e inorgánica;

Que se fijan los siguientes aranceles:

*\$1500 (pesos mil quinientos): Estudiantes de Doctorado de Universidades Nacionales y Extranjeras

*\$2000 (pesos dos mil): Profesionales, profesores, investigadores y becarios posdoc de entidades públicas nacionales y extranjeras.

*\$4000 (pesos cuatro mil): Profesionales de empresas privadas nacionales y extranjeras;

Que a fs. 26 obra Dictamen de la Comisión Académica del Doctorado en Ciencias Geológicas que dice: **"Esta Comisión considera adecuada y de interés la propuesta del curso: EARTH - AIR - FIRE - WATER= AMD. A SHORT COURSE ON ACID MINE DRAINAGE GEOCHEMISTRY así como los antecedentes del Dr. Kirk Nordstrom (USGS), son relevantes en el tema y garantizan la pertinencia de esta propuesta. En cuanto a la Lic. Murray se aconseja que su participación en el dictado del curso sea en el rol de la colaboradora. Por lo expuesto, se aconseja aprobar el dictado del mencionado curso."**

Que a fs. 34 obra Dictamen de la Comisión de Docencia y Disciplina que aconseja: **" 1) Aprobar el dictado del curso de posgrado "Geoquímica del Drenaje ácido de minas (DAM) [O, TIERRA - AIRE - FUEGO - AGUA]" A CARGO DEL Dr. Kirk Nordstrom (USGS), a dictarse entre el 11 al 15 de mayo de 2015, Aprobar programa de fs. 27-28, bibliografía fs. 29-32 y demás aspectos particulares fs. 1 y 2 de estos actuados."**

Que a fs. 34 rola Despacho N° 251/15 de Consejo y Comisiones que informa que el Consejo Directivo de esta Facultad en su Reunión Ordinaria N° 04-15 del 7 de Abril de 2015, en tratamiento Sobre Tablas, APROBÓ el Despacho de la Comisión de Docencia y Disciplina;



Universidad Nacional de Salta
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Escuela de Posgrado
AVENIDA BOLIVIA 5150
4400 - SALTA
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL./FAX: 54 -0387 - 4255513

EXPEDIENTE N° 10075/2015

R-CDNAT-2015 N° 204

POR ELLO y en uso de las atribuciones que le son propias,

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
(En su Reunión Ordinaria N° 04-15 del 7 de Abril de 2015)

RESUELVE:

ARTICULO 1°.- AUTORIZAR el Dictado del Curso de Posgrado N° 4/15, titulado: "GEOQUIMICA DEL DRENAJE ACIDO DE MINAS (DAM) [O, TIERRA – AIRE – FUEGO - AGUA]", organizado por la Carrera de Posgrado Doctorado en Ciencias Geológicas, a cargo del Dr. Kirk NORDSTROM (Servicio Geológico de U.S.) como Director del Curso, con la colaboración de la Dra. Jesica María MURRAY (UNSa-CONICET).

ARTICULO 2°.- APROBAR carga horaria, objetivos, programa, bibliografía, cupo y demás aspectos particulares del mismo, que obran en fs. 1 a 2 y 27 a 32 de estas actuaciones y que como Anexo I forman parte de la presente.

ARTICULO 3°.- INDICAR que este curso tiene una carga horaria total de 40 horas teórico-prácticas. Con evaluación final. Porcentaje de asistencia requerido 100%.
Se llevará a cabo entre los días 11 al 15 de mayo de 2015.

Está dirigido a Geólogos, Biólogos, Microbiólogos, Ingenieros en Recursos, Naturales, Químicos, Ingenieros Químicos, Ingenieros en Minas y profesionales afines. Serán necesarios conocimientos básicos en química general e inorgánica.

ARTICULO 4°.- FIJAR los aranceles de inscripción a este Curso como se indica a continuación:

- \$1500 (pesos mil quinientos): Estudiantes de Doctorado de Universidades Nacionales y Extranjeras
- \$2000 (pesos dos mil): Profesionales, profesores, investigadores y becarios posdoc de entidades públicas nacionales y extranjeras.
- \$4000 (pesos cuatro mil): Profesionales de empresas privadas nacionales y extranjeras

El arancel deberá ser abonado por cada uno de los interesados en la Dirección Administrativa Económica de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta.

Las inscripciones deben registrarse en la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales de la UNSa.

ARTICULO 5°.- PRESTAR CONFORMIDAD para que la Dra. Alicia KIRSCHBAUM, actúe como Coordinadora Académica de este Curso de Posgrado.

ARTICULO 6°.- ESTABLECER que en caso de existir un excedente financiero operativo (por sobre el presupuesto estimado), el 5% de este excedente se imputará a la cuenta Ingresos No Tributarios – Derechos, de la Facultad de Ciencias Naturales, mientras que el 95% restante quedará a disposición de la Facultad de Ciencias Naturales, hasta que la Comisión de Hacienda y Presupuesto decida al respecto. La retención deberá realizarse de acuerdo al Art. 2 de la Resolución CS 122/03.



Universidad Nacional de Salta
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

Escuela de Posgrado

AVENIDA BOLIVIA 5150
4400 - SALTA
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL./FAX: 54 -0387 - 4255513

EXPEDIENTE N° 10075/2015

R-CDNAT-2015 N° 204

ARTICULO 7°.- HÁGASE SABER a quien corresponda, remítanse copias a la Escuela de Posgrado, Dirección Administrativa Económica, Tesorería General de la Universidad y siga a la Escuela de Posgrado para que a través de la Directora del Curso y Coordinadora Académica, una vez concluido el dictado del mismo, informen la nómina de participantes y los resultados obtenidos.

ARTICULO 8°.- PUBLÍQUESE en la página de Internet de la Universidad Nacional de Salta.
cng/MER

Lic. MARIA MERCEDES ALEMAN
SECRETARIA ACADÉMICA
Facultad de Ciencias Naturales

M. Sc. Lic. ADRIANA E. ORTIN VUJOVICH
DECANA
Facultad de Ciencias Naturales



Universidad Nacional de Salta
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Escuela de Posgrado
AVENIDA BOLIVIA 5150
4400 - SALTA
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL./FAX: 54 -0387 - 4255513

ANEXO I
Res. R-CDNAT-2015 N° 204



Universidad Nacional de Salta
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

Escuela de Posgrado

AVENIDA BOLIVIA 5150
4400 - SALTA
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL./FAX: 54 -0387 - 4255513

EXPEDIENTE N° 10075/2015

R-CDNAT-2015 N° 204

CURSO DE POSGRADO
“GEOQUIMICA DEL DRENAJE ACIDO DE MINAS (DAM) [O, TIERRA – AIRE – FUEGO -
AGUA]”

Fines y objetivos del curso

Que los participantes adquieran una actualización y aprendizaje de los conceptos básicos sobre los procesos de formación drenaje ácido de minas, geoquímica, mineralogía secundaria asociada y modelado geoquímico. El drenaje ácido de minas (DAM) es una de los principales problemas ambientales causados por actividad minera metalífera, ocurre por la oxidación de sulfuros presentes en los desechos mineros y labores a cielo abierto y subterráneos. Conlleva al transporte de metales y afectación del entorno natural circundante, especialmente los sistemas fluviales y acuíferos. El conocimiento de estos conceptos es esencial para todos los profesionales vinculados a la actividad minera y al medio ambiente, así como para aquellos estudiantes y científicos dedicados al estudio de sitios mineros con problemas de generación de DAM actuales o futuros.

Programa del curso, distribución horaria, cantidad de horas, metodología, sistema de evaluación, lugar y fecha de realización

El curso se realizará del 11 al 15 de mayo de 2015, tendrá una duración de 40 hs distribuidas de lunes a viernes de 9 a 13 hs y de 15 a 19 hs. Se desarrollará en el Aula Virtual de la Facultad de Ciencias Exactas. Se establece un cupo máximo de 40 alumnos.

La modalidad del curso será: clases teóricas, trabajos prácticos realizados en el aula con el uso de *softwards* específicos (tipo PHREEQC, WATEQ4) para el modelado geoquímico y su aplicación en ejemplos de Pasivos Mineros del NOA. Para la aprobación del curso serán necesarias el 100% de asistencia y aprobar una actividad práctica grupal.

Conocimientos previos necesarios

Serán necesarios conocimientos básicos en química general e inorgánica

Profesionales a los que está dirigido el curso

El curso está planteado para geólogos, biólogos, microbiólogos, ingenieros en recursos naturales, químicos, ingenieros químicos, ingenieros en minas y profesionales afines.

Detalle analítico de erogaciones y eventual propuesta de arancelamiento

Los gastos se dividen en: gastos de campaña pre-curso y gastos del curso.

Gastos campaña pre-curso: debido a que durante el dictado del curso se tratarán casos de pasivos mineros del NOA (Mina pan de Azúcar, Mina Concordia, Planta de procesamiento La Poma) sobre los cuáles el Dr. Nordstrom no tiene conocimiento de campo, se ha planificado una campaña de reconocimiento de estos sitios para aplicar luego en los contenidos teórico-prácticos dictados durante el curso. Se prevé una campaña de 8 días a las Minas Pan de Azúcar, La Concordia y Planta de procesamiento La Poma ubicadas en la Puna de Salta y Jujuy. Los gastos previstos son:

Alquiler de vehículo \$4000
Combustible \$4000
Comida y alojamiento \$4000
Imprevistos \$3000
Total: \$15.000



Universidad Nacional de Salta
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

Escuela de Posgrado
AVENIDA BOLIVIA 5150
4400 - SALTA
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL./FAX: 54 -0387 - 4255513

EXPEDIENTE N° 10075/2015

R-CDNAT-2015 N° 204

Gastos aproximados del curso:

Alojamiento Dr. Nordstrom x 10 días \$6000
Coffe break \$5000
Viáticos Dr. Nordstrom \$5000
Fotocopias de programa y material práctico para alumnos del curso \$500
Pen drive x 40 unidades para entrega bibliografía (\$60 por unidad) \$2400
Total: \$ 18.900

Propuesta de arancelamiento:

Estudiantes de doctorado de Universidades Nacionales y extranjeras \$ 1500
Profesionales, profesores, investigadores y becarios posdoc de entidades públicas nacionales y extranjeras \$2000
Profesionales de empresas privadas nacionales y extranjeras \$4000

Programa

- I. Introducción (breve historia del DAM y la geoquímica de aguas)
- II. Revisión de los principios de equilibrio químico; acido/base, rango de pH de aguas naturales
- III. Solubilidad y equilibrio químico. Solubilidad de minerales comunes, CO₂ y carbonatos en el agua.
 - a. Programas de computación para modelar el equilibrio en la solubilidad y precipitación de fases.
 - b. Reacciones redox, desequilibrio, oxidantes, el rol de los microorganismos.
- IV. Fuentes del DAM, mineralogía, litología, excavaciones mineras, desechos mineros (escombreras y diques de colas).
- V. Procesos fundamentales en la hidroquímica y microbiología del DAM.
 - a. Procesos de oxidación
 - i. Procesos abióticos vs. procesos bióticos
 - ii. Estequiometría química y representación gráfica
 - iii. Precipitación de minerales
 1. Insolubles: hidróxidos y hidroxisulfatos
 2. Solubles: sales de sulfato
 - iv. Microbiología
 - v. Balance de masa
 - vi. Grado de avance de la oxidación
 - b. Aspectos hidrológicos
- VI. Modelado Geoquímico 1. *Batch* (ejercicios prácticos)
 - a. Especiación
 - b. Eh medido vs. Eh calculado
 - c. Modelado de la oxidación de pirita
 - d. Modelado de la oxidación de Fe(II) en solución acuosa



R-CDNAT-2015 N° 204

- VII. Modelado geoquímico 2. Transporte (ejemplos sin ejercicio práctico)
- Agua superficial
 - Agua subterránea

Bibliografía

Alpers, C.N. and 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.

Alpers, C.N., Nordstrom, D.K., and Spitzley, J. (2003) Extreme acid mine drainage from a pyritic massive sulfide deposit: The Iron Mountain end-member: *In Jambor, J.L., Blowes, D.W., and Ritchie, A.I.M., eds., Environmental Aspects of Mine Wastes*, Mineralogical Association of Canada, Vol. 31, 407-430.

Baker, B.J. and Banfield, J.F. (2003) Microbial communities in acid mine drainage. *FEMS Microbiol. Ecol.* 44, 139-152.

Ball, J.W. and Nordstrom, D.K. (1991) User's manual for WATEQ4F, with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of major, trace and redox elements in natural waters, U.S. Geol. Survey Open-File Report 91-183, 189.

Ball, J.W., Runkel, R.L., and Nordstrom, D.K. (2004) Evaluating remedial alternatives for the Alamosa River and Wightman Fork, near the Summitville, Colorado: Application of a reactive-transport model to low- and high-flow simulations, Chap. 3, *In Environmental Sciences and Environmental Computing*. Vol. II, P. Zanetti (ed.), the EnviroComp Institute, 1-54 (<http://www.envirocomp.org>).

Bigham, J.M., and Nordstrom, D.K. (2000) Iron and aluminum hydroxysulfates from acid sulfate waters, *In Alpers, C.N., Jambor, J.L., and Nordstrom, D.K., (eds.), Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Vol. 40, Sulfate Minerals - Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance, P.H. Ribbe, Series Ed., Mineralogical Society of America, Washington, D.C., 351-403.

Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Jambor, J.L., Weisener, C.G., Paktunc, D., Gould, W.D., and Johnson, D.B. (2014) the geochemistry of acid mine drainage. *In Lollar, B.S. (Ed.) Environmental Geochemistry*, v. 9, *Treatise on Geochemistry*, 2nd ed., Holland, H.D., and Turekian, K.K. (Eds.), 149-204.

Caruso, B.S., Cox, T.J., Runkel, R.L., Velleux, M.L., Bencala, K.E., Nordstrom, D.K., Julien, P.Y., Butler, B.A., Alpers, C.N., Marion, A., and Smith, K.S. (2008) Metals fate and transport modeling in streams and watersheds: state of the science and USEPA workshop review, *Hydrol. Proc.* 22, 4011-4022.

Ercilla, M.D., Pamo, E.L., and Sanchez España. (2009) Photoreduction of Fe(III) in the acidic mine pit lake of San Telmo (Iberian Pyrite Belt): Field and experimental work, *Aquat. Geochem.* 15: 391-419.

Gammons, C.H., Nimick, D.A., and Parker, S.R. (2014) Diel cycling of trace elements in streams draining mineralized areas – A review, *Appl. Geochem.* [in press, online]

Gammons, C.H., Nimick, D.A., Parker, S.R., Snyder, D.M., McCleskey, R.B., Amils, R., Poulson, S.R. (2008) Photoreduction fuels biogeochemical cycling of iron in Spain's acid rivers, *Chem. Geol.* 252, 202-213.

Geller, W., Klapper, H., and Salomons, W. (eds.) (1998) *Acidic Mining Lakes*, Springer, Berlin.

Jambor, J.L., Nordstrom, D.K., and Alpers, C.N. (2000) Metal sulfate salts from sulfide mineral oxidation, *In Alpers, C.N., Jambor, J.L., and Nordstrom, D.K., (eds.), Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Vol. 40, Sulfate Minerals - Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance, P.H. Ribbe, Series Ed., Mineralogical Society of America, Washington, D.C., 305-350.



Universidad Nacional de Salta
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

Escuela de Posgrado

AVENIDA BOLIVIA 5150
4400 - SALTA
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL./FAX: 54 -0387 - 4255513

EXPEDIENTE N° 10075/2015

R-CDNAT-2015 N° 204

Jamieson, H.E., Robinson, Claire, Alpers, C.N., McCleskey, R.B., Nordstrom, D.K., Peterson, R.C. (2005) Major and trace element composition of copiapite-group minerals and coexisting water from the Richmond mine, Iron Mountain, California, *Chem. Geol.* 215, 387-405.

Jamieson, H.E., Robinson, Claire, Alpers, C.N., Nordstrom, D.K., Poustovatov, Alexei, and Lowers, H.A. (2005) The composition of coexisting jarosite-group minerals and water from the Richmond Mine, Iron Mountain, California, *Can. Mineral.* 43, 1225-1241.

Johnson, D.B. 2012. Geomicrobiology of extremely acidic subsurface environments. *FEMS Microbiol. Ecol.* 81, 2-12.

Kupka, D., Rzhepishevskaya, O.I., Dopson, M., Lindström, E.B., Karnachuk, O.V., and Tuovinen, O.H. 2007. Bacterial oxidation of ferrous iron at low temperatures. *Biotechnol. Bioeng.* 97, 1470-1478.

McKibben, M.A. and Barnes, H.L. 1986. Oxidation of pyrite in low temperature acidic solutions: rate laws and surface textures. *Geochim. Cosmochim. Acta* 50, 1509-1520.

Moses, C.O., Nordstrom, D.K., Herman, J.S. and Mills, A.L. (1987) Aqueous pyrite oxidation by dissolved oxygen and by ferric iron, *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 1561-1571.

Nimick, D.A., Gammons, C.H., and Parker, S.R. (2011) Diel biogeochemical processes and their effect on the aqueous chemistry of streams – A review. *Chem. Geol.* 283, 3-17.

Nordstrom, D.K. (1982) Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals, *In* Kittrick, J.A., Fanning, D.S., and Hossner, L.R., eds., *Acid Sulfate Weathering*, Soil Sci. Soc. Am. Publ., 37-56.

Nordstrom, D.K. (2003) Effects of microbiological and geochemical interactions in mine drainage: *In* Jambor, J.L., Blowes, D.W., and Ritchie, A.I.M., eds., *Environmental Aspects of Mine Wastes*, Mineralogical Association of Canada, Vol. 31, 227-238.

Nordstrom, D.K. (1985) The rate of ferrous iron oxidation in a stream receiving acid mine effluent, *In* *Selected Papers in the Hydrological Sciences*, U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 2270, 113-119.

Nordstrom, D.K. (2008) Questa Baseline and Pre-Mining Ground-Water Quality Investigation. 25. Summary of results and baseline and pre-mining ground-water geochemistry, Red River Valley, Taos County, New Mexico, 2001-2005, U.S. Geological Survey Professional Paper 1728, 111 pp

Nordstrom, D.K. (2009) Acid rock drainage and climate change, *J. Geochem. Exploration* 100, 97-104.

Nordstrom, D.K. (2011) Hydrogeochemical processes governing the origin, transport, and fate of major and trace elements from mine wastes and mineralized rock to surface waters, *Appl. Geochem.* 26, 1777-1791.

Nordstrom, D.K. (2011) Mine waters: Acidic to circumneutral, *Elements* 7, 393-398.

Nordstrom, D.K. (2012) Models, validation, and applied geochemistry: Issues in science, communication, and philosophy, *Appl. Geochem.* 27, 1899-1919.

Nordstrom, D.K. (2015) Baseline and premining geochemical characterization of mined sites, *Appl. Geochem.* [in press]

Nordstrom, D.K. and Alpers, C.N. (1999) Negative pH, efflorescent mineralogy, and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain Superfund site, California, *Proc. Nat'l. Acad. Sci.* 96, 3455-3462.

Nordstrom, D.K. and Ball, J.W. (1986) The geochemical behavior of aluminum in acidified surface waters, *Science* 232, 54-56.

Nordstrom, D.K. and Campbell, K.M. 2014. Modeling low-temperature geochemical processes: *In* Drever, J.I., ed., *Surface and Ground Water, Weathering, and Soils*, Treatise on Geochemistry, Vol. 5, H.D. Holland and K.K. Turekian, ex. eds., Elsevier, Amsterdam, 27-68.



Universidad Nacional de Salta
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

Escuela de Posgrado

AVENIDA BOLIVIA 5150
4400 - SALTA
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL./FAX: 54 -0387 - 4255513

EXPEDIENTE N° 10075/2015

R-CDNAT-2015 N° 204

Nordstrom, D.K. and Southam, G. (1997) Geomicrobiology of sulfide mineral oxidation, Chap. 11, *In* Banfield, J.F. and Nealson, K.H., eds., *Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals*, Vol. 35, *Reviews in Mineralogy*, Min. Soc. Am., Washington, DC, 361-390.

Nordstrom, D.K., Jenne, E.A. and Ball, J.W. (1979) Redox equilibria of iron in acid mine waters, *In* Jenne, E.A., ed., *Chemical Modeling in Aqueous Systems*, Am. Chem. Soc. Symp. Series 93, 51-80.

Nordstrom, D.K., Alpers, C.N., Ptacek, C.J. and Blowes, D.W. (2000) Negative pH and extremely acidic mine waters from Iron Mountain, California. *Envir. Sci. Tech.* 34, 254-258.

Nordstrom, D.K., Wright, W.G., Mast, M.A., Bove, D.J., and Rye, R.O. (2007) Aqueous-sulfate stable isotopes: A study of mining-affected and undisturbed acidic drainage. Chap. E8, *Abandoned Mined Lands*, U.S. Geological Survey Professional Paper 1651, 387-416.

Plumlee, G.S. and Logsdon, M.J. (Eds.) (1999) *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits*, *Rev. Econ. Geol.* 6, Soc. Econ. Geol., Littleton, Colorado.

Runkel, R.L., Kimball, B.A., Walton-Day, K., Verplanck, P.L., and Broshears, R.E. 2012. Evaluating remedial alternatives for an acid mine drainage stream: A model post audit, *Environ. Sci. Technol.* 46, 340-347.

Sanchez-España, J., Pamo, E.L., and Pastor, E.S. (2007) The oxidation of ferrous iron in acidic mine effluents from the Iberian Pyrite Belt (Odiel Basin, Huelva, Spain): Field and laboratory rates, *J. Geochem. Explor.* 92, 120-132.

Sanchez-España, J., Yusta, I., and Diez-Ercilla, M. (2011) Schwertmannite and hydrobasaluminite: A re-evaluation of their solubility and control on the iron and aluminium concentration in acidic pit lakes, *Appl. Geochem.* 26, 1752-1774.

Sanchez-España, J., González-Toril, E., López-Pamo, E., Amils, R., Ercilla, M.D., Pastor, E.S., and San Martín-Úriz, P. 2008. Biogeochemistry of a hyperacidic and ultraconcentrated pyrite leachate in San Telmo mine (Iberian Pyrite Belt, Spain). *Water Air Soil Pollut.* 194, 243-257.

Verplanck, P.L., Nordstrom, D.K., Bove, D.J., Plumlee, G.S., and Runkel, R.L. (2009) Naturally acidic surface- and ground-waters draining porphyry-related mineralized areas of the southern Rocky Mountains, Colorado and New Mexico, *Appl. Geochem.* 24, 255-267.

Webster, J.G., Nordstrom, D.K. and Smith, K.S. (1994) Transport and Natural Attenuation of Cu, Zn, As, and Fe in the Acid Mine Drainage of Leviathan and Bryant Creeks. *In* *Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation*, C.N. Alpers and D.W. Blowes, eds., Am. Chem. Soc. Symp. Series 550, 244-260.

Younger, P., Banwart, S.A., and Hedin, R.S. 2002. *Mine Water – Hydrology, Pollution, Remediation*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Younger, P.L. and Robins, N.S. (Eds.) (2002) *Mine Water Hydrology and Geochemistry*, *Geol. Soc. Spec. Pub.* No. 198.