

Presencia de metales pesados en un suelo aledaño a una escombrera polimetálica en mina La Ferrocarrilera, Lago Fontana. Chubut, Argentina



Mónica Gabriela Rack, Adriana Mónica Nillni, Margarita Do Campo, María Fernanda Valenzuela y Leonardo Fabio Ferro

RESUMEN

En la provincia de Chubut, Argentina, se desarrollaron actividades extractivas polimetálicas anteriores a las leyes ambientales vigentes desde hace unas décadas. En muchos casos, esas explotaciones fueron abandonadas sin haberse llevado a cabo tareas de remediación-restauración, y deben realizarse estudios para determinar si constituyen pasivos ambientales mineros. En este trabajo se determinaron los impactos generados sobre el suelo por una escombrera de la Mina La Ferrocarrilera, ubicada sobre la margen sur del Lago Fontana, Chubut. La Ferrocarrilera es una estructura vetiforme emplazada en las rocas andesíticas de la Formación Lago La Plata., que posee sulfuros de Pb, Ag y Zn y escaso Au en ganga de cuarzo. Se describieron dos perfiles de suelo, uno de control ubicado en un área aledaña a la mina (PLF1) y otro a 1 metro del pie de la escombrera (PLF2). Se determinaron propiedades físicas y químicas, y los contenidos de Cu, Zn, As y Pb en los horizontes del suelo. Los suelos de ambos perfiles son similares en cuanto a la secuencia de horizontes que presentan, las texturas, la conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica; en cambio PLF2 presenta menor pH y mayores contenidos de Pb, Zn, Cu y As que PFL1. Esto se explica porque el pH de la escombrera es fuertemente ácido, permitiendo la disolución de los metales pesados y metaloides contenidos en los sulfuros, que son movilizados por el drenaje superficial o sub superficial desde la escombrera hacia el suelo ubicado topográficamente por debajo, generando drenaje ácido de mina.

ABSTRACT

For several decades, polymetallic extractive activities were carried on in Chubut province, prior to the environmen-

tal laws in force. In many cases, these mines were abandoned without remediation-restoration works, consequently they should be studied to determine whether they constitute mining environmental liabilities. In this work, the impacts generated on the soils by one of the wastes of La Ferrocarrilera mine, at southern margin of Fontana Lake, were determined. La Ferrocarrilera is a vein-type deposit located in andesitic rocks of Lago La Plata Formation, whit of Pb, Ag y Zn sulfides, and scarce gold in quartz gangue. Two soil profiles were described, one in an area adjacent to the mine (PLF1) and the other at 1 meter from the base of the dump (PLF2). Physical and chemical properties and Cu, Zn, As and Pb contents were determined in the different soil horizons. Both profiles are similar in terms of the sequence of horizons they present, textures, electrical conductivity and organic matter content; in contrast PLF2 presents lower pH and higher contents of Pb, Zn, Cu and As than PFL1. This can be explained because the pH of the dump is strongly acid, allowing the dissolution of heavy metals and metalloids contained in the sulfides, which are mobilized by surface or sub-surface drainage from the dump to the soil located topographically below, generating mine acid drainage.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, la actividad minera que predominó desde la época colonial hasta fines del siglo XX, ha sido la minería metalífera a pequeña y mediana escala, así como la extracción de rocas y minerales de aplicación a distintas escalas. Aunque estas actividades extractivas pueden tener un fuerte impacto sobre el medio ambiente, se desarrollaron sin ningún tipo de regulación ambiental específica hasta la década de los 90.

A lo largo del siglo XX, en la provincia de Chubut se desarrollaron actividades extractivas polimetálicas de pequeña y mediana envergadura. Si bien en la legislación ambiental actualmente vigente, tanto a nivel nacional como provincial, se reconoce la figura del daño ambiental y la obligación de restaurar los sitios degradados al cierre de la explotación (Ley Nacional N°24.585 y Ley Provincial XI-N°15) es común que una vez finalizada la explotación de estos yacimientos por parte de las empresas mineras, se produzca el abandono (o cierre) de la mina, sin tener en cuenta el costo medioambiental, social y económico que dicha acción genera (Guerrero y Blanco, 2001; Oyarzún et al., 2011).

Palabras clave: Industria minera, remediación ambiental, metales pesados, suelos, pasivos ambientales mineros, Región Central Andino-Patagónica

Keywords: Mining industry, environmental remediation, heavy metals, soils, mining environmental liabilities, Central Andean-Patagonian region

Estas áreas, en la mayor parte de los casos, no se restauran, quedando un pasivo ambiental minero (PAM) que impacta intensamente sobre las zonas en que se ubican, porque se producen movimientos de tierras que hacen desaparecer la cubierta edáfica, se compactan los suelos por efecto de los depósitos de estériles a gran escala (escombreras) se pierde la cubierta vegetal y en ocasiones, se emiten ciertos contaminantes (Gómez Orea, 2004). En la provincia de Chubut hay numerosos ejemplos de minas polimetálicas que fueron explotadas y abandonadas con anterioridad a la actual legislación, por lo cual, los pasivos ambientales no fueron gestionados. Al respecto, se pueden citar Mina Hue-mules (Esquel), Mina La Ferrocarrilera (Senguer), Minas Stella Maris y Mina Calafate (Lonco Trapial).

Los suelos aledaños a explotaciones mineras metalíferas, sufren modificaciones en sus propiedades físico-químicas, que favorecen la presencia y movilidad de diversos iones metálicos y metaloides (Cu, Pb, Fe, Zn, As) en concentraciones que pueden ser tóxicas (Liao y Xie, 2007). En Argentina, la Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051 reglamentada por el Decreto N° 823 del año 1993, es la que establece valores máximos de metales pesados para uso del suelo agrícola, residencial e industrial.

La mayoría de los suelos de la Región Andina de la provincia del Chubut, se desarrollan sobre cenizas volcánicas, siendo sus principales funciones la producción de biomasa, regulación de ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, hábitat biológico y reserva genética (Porta, 2008).

Los problemas de contaminación a causa de las actividades mineras, han sido objeto de innumerables estudios en distintos

lugares del mundo (Förstner y Wittmann, 1979; EPA, 1996; Romero et al., 2007).

Actualmente, existen 39 proyectos en la etapa de prospección y exploración de minería metálica en la provincia de Chubut (MAyCDS, 2017) constituyéndose en uno de los territorios del mundo que despiertan mayor interés en el desarrollo de este tipo de industria (Fraser Insitute, 2012). Dada la relevancia y la magnitud de los proyectos mineros que pueden desarrollarse en esta provincia, amerita conocer los alcances de los impactos generados sobre el suelo por estas actividades a través del tiempo, incluso una vez que se ha producido el cierre de la mina.

MARCO GEOLÓGICO Y EDAFOLOGÍA DEL ÁREA DE MINA LA FERROCARRILERA

La mineralización La Ferrocarrilera se ubica sobre la margen sur del Lago Fontana, al SO de la provincia del Chubut (**Figura 1**).

En la región abundan las manifestaciones de minerales metalíferos y áreas de alteración en las que las rocas primarias han sido transformadas en minerales del grupo de las arcillas.

En la zona afloran rocas volcánicas mesosilícicas correspondientes a la Formación Lago La Plata, de edad Jurásico medio a superior (Ramos, 1976). Sobre estas rocas se depositaron sedimentos marinos neocomianos del Grupo Coyhaique (Ploszkiewicz y Ramos, 1977; Ramos, 1976) e inmediatamente por encima de estas últimas, volcanoclastitas ácidas del Grupo Divisadero del Cretácico inferior (Ploszkiewicz y Ramos, 1977; Ramos, 1978; Haller y Lapido, 1980; Suárez *et al.*, 1996).

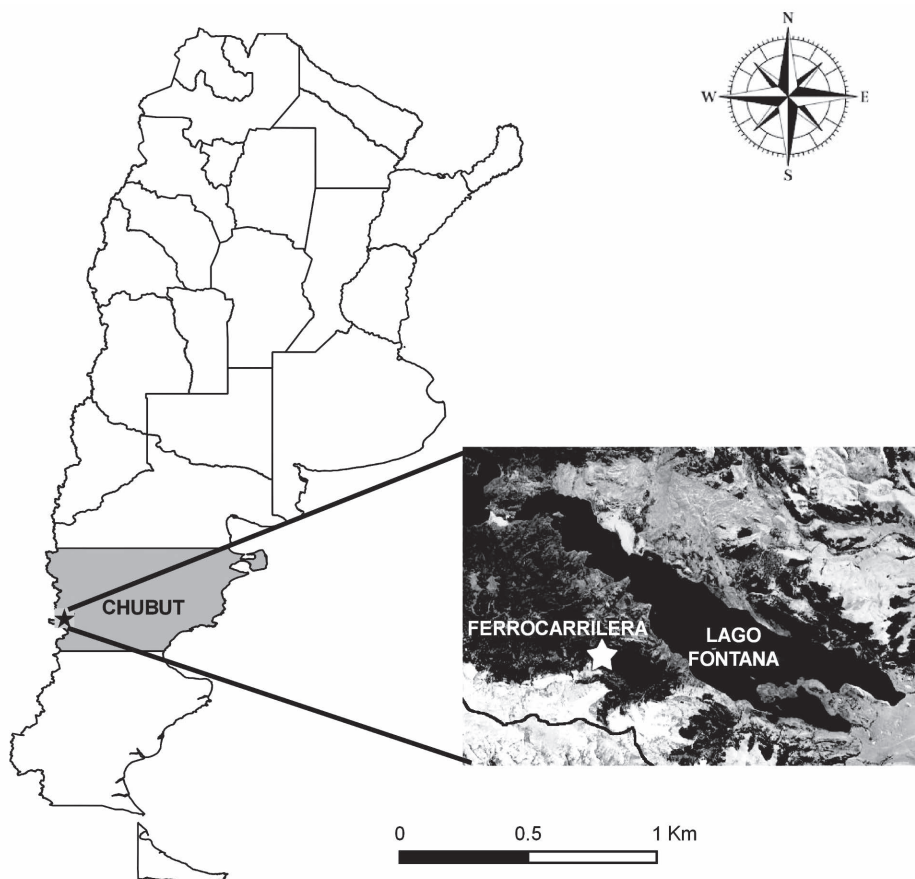


Figura 1. Ubicación de la Mina Ferrocarrilera en la provincia de Chubut



Figura 2. Vista de la bocamina correspondiente a la escombrera estudiada

La Ferrocarrilera consiste en una estructura vetiforme, que posee principalmente minerales de Zn, Pb, Ag y escaso Au en ganga de cuarzo, con alteración cuarzo-sericitica-propilítica, emplazada en las rocas andesíticas de la Formación Lago La Plata. Esta estructura tiene un rumbo que varía de 20° a 50° Este, una extensión de aproximadamente 1.500 m y espesores máximos de hasta 7 m. La mineralización consiste principalmente en galena, esfalerita, pirita y calcopirita. Esta paragénesis es característica de un depósito hidrotermal, que según Domínguez (1981) es de baja temperatura epitermal (aproximadamente 200°C).

La ex-Compañía Ferrocarrilera y la Compañía Minera Metalífera de Comodoro Rivadavia, realizaron los primeros trabajos en la mina. La empresa Metalúrgica Austral Argentina llevó a cabo perforaciones entre los años 1947 y 1948, y luego de esto, la mina fue abandonada (Figura 2).

El pasivo ambiental no gestionado más relevante en esta área, es la presencia de una escombrera en la que los sulfuros predominantes son galena y blenda (Figura 3).

El clima es templado húmedo frío, siendo la media anual en el área del lago Fontana, de 1.000 mm anuales. Los suelos son derivados de cenizas volcánicas y su régimen de humedad es údico. La vegetación está representada por *Nothofagus pumilio* y un sotobosque de *Berberis serrato-dentata* (calafate) *Maytenus disticha* (maitén chico) y *Poaceae* (gramínea).

METODOLOGÍAS

Se describieron dos perfiles de suelos, uno de control ubicado en un área aledaña a la mina, pero no impactado por las actividades extractivas (PLF1) y otro localizado a 1 metro del pie de la escombrera y topográficamente por debajo de esta (PLF2) y que estaba impactado por la actividad mencionada. El muestreo se realizó por horizonte (Schoenerberger *et al.*, 1998) y los perfiles de suelo fueron clasificados según el *Soil Survey Staff* (1999). En todas las muestras se determinaron las siguientes propiedades físicas y químicas: pH en agua (1:1 y 1:2,5) (Jackson 1970) contenido de materia orgánica (Walkley y Black, 1934) textura (Bouyoucos, 1927) y conductividad eléctrica (Allison *et al.*, 1980). Para determinar el grado de intemperización de la ceniza volcánica, se realizó el pH en FNa a los 2' y 60' (Fieldes y Perrot, 1966). Por otra parte, se determinaron los contenidos de Cu, Zn As y



Figura 3. Vista de la parte superior de la escombrera

Pb en las muestras de los dos perfiles de suelo. Estos elementos fueron seleccionados teniendo en cuenta los minerales presentes en la escombrera y su potencial toxicidad. Las muestras fueron sometidas a una digestión ácida y se analizaron mediante espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) en el Laboratorio de Análisis Ambientales de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM).

RESULTADOS

Los suelos analizados son transportados, de origen piroclástico (cenizas volcánicas) y presentan una secuencia de horizontes A-Bw-C. Las texturas en general son gruesas (arenosa franca) y presentan baja conductividad eléctrica (entre 0,019 y 0,239 dS/m) lo cual indica que son suelos no salinos.

Los pH determinados en laboratorio fueron moderadamente ácidos en el perfil PLF1 y muy fuertemente a fuertemente ácidos en los horizontes A y Bw, y moderadamente ácidos en el C del perfil PLF2. En tanto que en la escombrera se registró un pH en agua (1:1) de 4,09 (muy fuertemente ácido). El contenido de materia orgánica (MO) fue muy bien provisto en los dos perfiles: 18,9% de MO y 11% de C en el perfil PLF1 y 13,6% de MO y 7,9% de C en el PLF 2.

En ambos perfiles los valores de pH FNa indican la presencia de imogolita en los respectivos horizontes A, dado que fue menor a 9,2 a los 2' y mayor a 9,2 a los 60', y en profundidad el pH FNa fue mayor a 9,2 a los 2' y a los 60', indicando una mayor alofanización, por lo cual la fracción arcilla estaría dominada por alófanos (Irisarri, 2000). Los suelos fueron clasificados como Udivitrands (Tabla 1).

Distribución de Cu, Zn, As, Pb en los perfiles de suelo

Los resultados obtenidos se presentan en el Figura 4. Los contenidos de Cu, Zn, As y Pb registrados en los horizontes A, Bw y C del perfil de la zona no afectada por la escombrera (PLF1) están en todos los casos, por debajo de los máximos permitidos en la legislación argentina para suelos de uso agrícola y de uso residencial (Ley Nacional de Residuos Peligrosos, 1993). En este perfil, las concentraciones de Zn y Pb son mayores en el horizonte A que en los horizontes Bw y C. Por el contrario, las

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de los perfiles

	PLF1			PLF2		
	A	Bw	C2	A	Bw	C2
pH 1:1	-	6	5,91	-	5,39	5,7
pH 1:2,5	5,8	-	-	4,83	-	-
Conductividad dS/m	0,172	0,025	0,019	0,239	0,11	0,046
pH NaF 2'	9	10,35	10,2	9,16	10,32	10,53
pH NaF 60'	9,8	11,02	10,92	9,79	11	11,05
% MO	18,9	-	-	13,6	-	-
% CO	11	-	-	7,9	-	-
% arcilla	3,5	2,5	2,6	3	2,4	2,4
% limo	17,2	21,2	16,8	14,3	21,7	28,2
% arena	79,3	76,3	80,5	82,7	75,8	69,4
Clase textural	arenosa franca	arenosa franca	arenosa franca	arenosa franca	arenosa franca	franco arenosa

concentraciones de Cu y As en los niveles Bw y C son significativamente mayores, aproximadamente el doble, que en el nivel A. Estas variaciones en la concentración pueden responder a la distinta solubilidad de estos elementos frente las condiciones de pH y potencial de óxido reducción del suelo, o a reacciones de superficie entre estos elementos y los minerales del grupo de las arcillas y la materia orgánica presentes en el suelo.

En el perfil PLF2 se registraron concentraciones de metales mayores que en el perfil de control, sobre todo en el horizonte A, para el cual los enriquecimientos fueron de alrededor de 7 veces para Zn, 8 veces para Cu, 13 para Pb y 167 veces para As. En los horizontes Bw y C también se registraron contenidos más altos de metales que en el perfil de control, pero los enriquecimientos son

de menor magnitud (Tabla 2). Los contenidos de Zn, As y Pb en el horizonte A del perfil PLF2, superan los máximos permitidos para suelo tanto de uso agrícola como residencial, mientras que el contenido de Cu supera los niveles guía para suelo de uso residencial.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los suelos del perfil de control PLF1 son similares a los del perfil PLF2 en cuanto a la secuencia de horizontes que presentan, las texturas de cada uno de ellos, la conductividad eléctrica y su contenido de materia orgánica. En cambio, difieren en el pH y el contenido de Pb, Zn, Cu y As. En relación con el pH, para suelos derivados de cenizas volcánicas con régimen de humedad údico

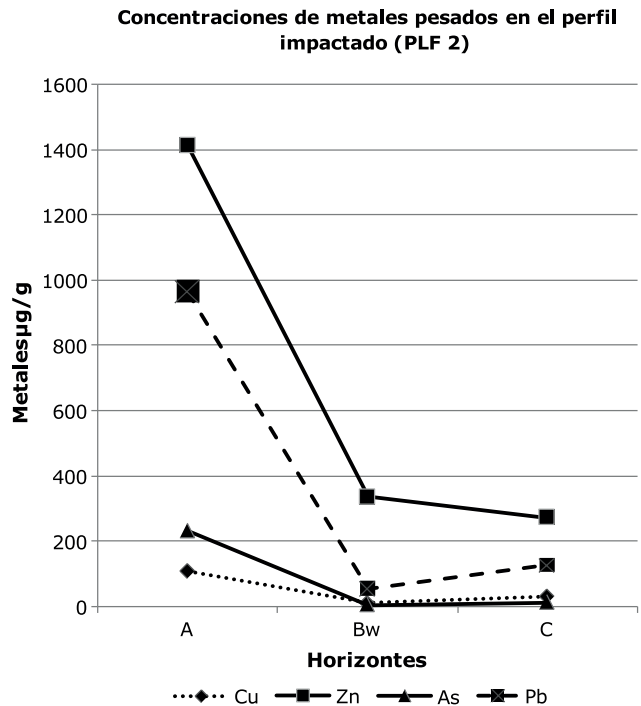
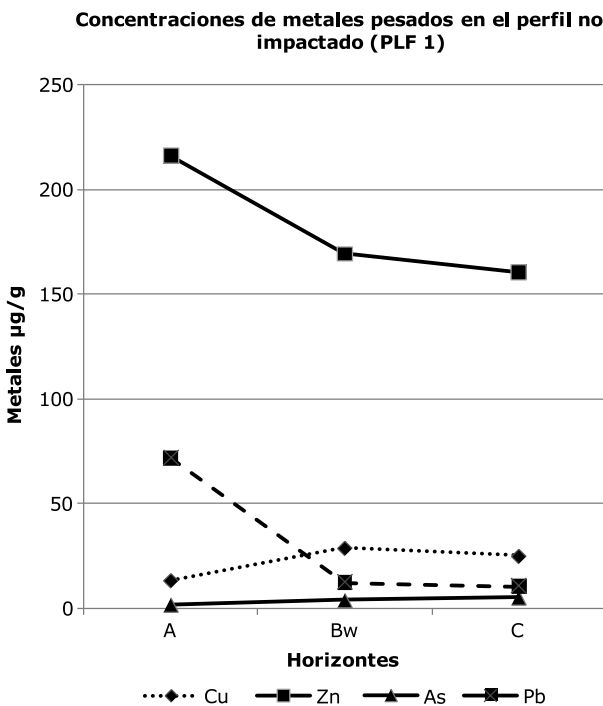


Figura 4. Contenidos de Cu, Zn, As y Pb en el perfil no impactado (PLF 1) e impactado (PLF 2)

Tabla 2. Factores de enriquecimiento

	Factores enriquecimiento PLF2/PLF1			
	Cu	Zn	As	Pb
A	8.4	6.6	167.1	13.5
Bw	0.4	2.0	1.9	4.6
C	1.3	1.7	2.8	12.4

en el SW de Neuquén y NW y SW de Chubut, se han informado valores de pH en agua entre 5,8 y 5,9, y de materia orgánica entre 15,98 y 20% (Broquen, 2000; Irisarri, 1995; Morales, 2010) similares a los obtenidos en el perfil de control PLF1.

En la escombrera se midió un pH de 4,09, que junto con las condiciones oxidantes típicas de la superficie, favorecen la disolución y oxidación de los sulfuros (galena, esfalerita, piritita y calcopiritita). Además, tanto los metales pesados como el As, son solubles en condiciones ácidas y oxidantes (Brookings, 1988) por lo cual, las condiciones de pH y potencial redox de la escombrera, permiten la puesta en solución de los metales pesados y metaloides contenidos en los sulfuros, proceso que se conoce como drenaje ácido de mina (DAM). El drenaje superficial o sub superficial desde la escombrera hacia el suelo ubicado topográficamente por debajo (PLF2) explica los valores intermedios de pH en agua obtenidos en el perfil PLF2 con respecto al perfil de control PLF1. De modo que los altos contenidos de Pb, Zn, Cu y As en el nivel A del perfil PLF2, son consecuencia de procesos de DAM.

Los metales como el Pb y el As no desempeñan ninguna función biológica y pueden ser altamente tóxicos (Ortiz, 2007). Por lo cual, los datos presentados demuestran que la escombrera de la Mina La Ferrocarrilera, constituye un Pasivo Ambiental Minero, que pese a su escaso tamaño y los años transcurridos desde el abandono de las labores, continúa generando drenaje ácido de mina que impacta en los suelos circundantes. Estos resultados indican que las labores mineras que fueron cerradas o abandonadas con anterioridad a la legislación ambiental vigente en la provincia de Chubut, deberían ser estudiadas para establecer si constituyen pasivos ambientales mineros, en cuyo caso, el Estado debería llevar a cabo las tareas de remediación que fuesen necesarias en cada caso.

BIBLIOGRAFÍA

- Brookings, D.G. (1988). Eh-pH diagrams for geochemistry. Springer -Verlag, Nueva York, 176 pp.
- Broquen, P. (2000). Variación de la reacción en Andisoles con Pinus ponderosa Dougl. en relación a la vegetación nativa, S.O. Neuquén Argentina. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, del 11 al 14 de abril de 2000.
- Dominguez, E. (1981). Génesis y geoquímica de la mineralización de los yacimientos "Los Manantiales" y "Lago Fontana", provincia del Chubut. Revista Asociación Geológica Argentina, 36 (2), 123-142.
- EPA-Environmental Protection Agency (1996). Managing environmental problems at inactive and abandoned metal mine sites. Report E.P.A./625/R-95/007, 91 pp.
- Förstner, U., Wittman, G.T.W. (1979). Metal pollution in the aquatic environment. Springer- Verlag, Nueva York, 486 pp.
- Fraser Institute. (2012). Annual survey of mining companies: 2011/2012. Disponible en: <https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/mining-survey-2011-2012-rev.pdf> (Consultado el día 10 de junio de 2017)
- Guerrero D. y Blanco, R. (2001). Importancia del cierre de minas para alcanzar el desarrollo sostenible. III Encuentro Nacional de Derecho Minero. IV Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Legislación Minera, Buenos Aires, Argentina, 6 y 7 de septiembre de 2001.
- Gómez Orea, D. (2004). Recuperación de espacios degradados. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, 582 pp.
- Haller, M. y Lapido, O. (1980). El mesozoico de la Cordillera Patagónica Central. Revista Asociación Geológica Argentina, 35 (2), 230-247.
- Irisarri J., Mendía J., Roca C., Buduba C., Valenzuela F., Epele F., Fraseto F., Ostertag G., Bobadilla S. y Andenmatten E. (1995). Zonificación de las tierras para la aptitud forestal de la Provincia del Chubut. Dirección General de Bosques y Parques de la Provincia del Chubut. Informe Técnico en Formato digital.
- Irisarri J.A. (2000). La propuesta de reclasificación de los Andepts de Argentina, de acuerdo al Orden Andisoles. Taller Soil Taxonomy, INTA AICET AACs. 18-27 p.
- Ley Nacional de Residuos Peligrosos N°24.051 publicada en el Boletín Oficial del 17/01/92. Decreto Reglamentario de la Ley de Residuos Peligrosos N°831/93 publicada en el Boletín Oficial del 3/05/93.
- Liao M., Xie X. M. (2007). Effect of heavy metals on substrate utilization pattern, biomass, and activity of microbial communities in a reclaimed mining wasteland of red soil area. Ecotoxicology and Environmental Safety 66 (2), 217-223.
- MAyCDS-Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable (2017). Mapa de prospección y mapa de explotación de primera categoría. Disponible en: <http://www.chubut.gov.ar/portal/wp-organismos/ambiente/mapas-ambientales-nuevo/>. Consultada el 5 de mayo de 2017.
- Morales, D.; La Manna, L y Buduba, C. (2010). Propiedades químicas de suelos desarrollados sobre distintos materiales originales bajo bosques de Austrocedrus chilensis. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo 42 (1), 185-200.
- Oyarzún, R.; Higuera, P.; Lillo, J. (2011). Minería ambiental: una introducción a los impactos y su remediación. Ediciones GEMM, Madrid, España. 337 pp.
- Ortiz, B. I.; J. G. Sanz; M. V. Dorado, S. F. Villar. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de vigilancia tecnológica. Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación, España.108 pp.
- Ploszkiewicz, V y Ramos, V.A. (1977). Estratigrafía y tectónica de la sierra de Payaniyeu, provincia del Chubut. Revista Asociación Geológica Argentina, 32 (3), 209-226.
- Porta, J.; López Acevedo, M y Poch, R. M. (2008). Introducción a la edafología: uso y protección del suelo. Mundi-Prensa. Madrid. 541pp.
- Ramos, V.A., (1976). Estratigrafía de los lagos La Plata y Fontana, provincia del Chubut, República Argentina. 1º Congreso Geológico Chileno, Actas, 1 (A): 43-64. Santiago, Chile.
- Ramos, V.A. (1978). El vulcanismo del Cretácico inferior de la Cordillera Patagónica. 7º Congreso Geológico Argentino, Actas, 1: 423-436.
- Romero, F.M.; Armienta, M.A., González-Hernández, G. (2007). Solid-phase control on the mobility of potentially toxic elements in an abandoned lead-zinc mine tailings impoundment. Applied Geochemistry, 22 (1), 109-127.
- Suárez, M.; de la Cruz, R. y Bell, C.M. (1996). Estratigrafía de la región de Coyhaique (Latitud 45°-46° S) Cordillera Patagónica, Chile. 13º Congreso Geológico Argentino, Actas, 1: 575-590. Buenos Aires, Argentina.

Sobre los autores:

Mónica Gabriela Rack es Licenciada en Saneamiento y Protección ambiental, egresada de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB) Argentina. Se desempeña como becaria de CONICET, realizando el Doctorado en Geología en la UNPSJB.

Se la puede contactar en la dirección electrónica: [<monirack@yahoo.com.ar>](mailto:monirack@yahoo.com.ar).

Adriana Mónica Nillni es Doctora en Ciencias Geológicas, egresada de la UNPSJB. Se desempeña como docente e investigadora de la misma Universidad.

Margarita Do Campo es Doctora en Ciencias Geológicas, egresada de la Universidad de Buenos Aires (UBA). Se desempeña como docente de la UBA e investigadora del CONICET.

María Fernanda Valenzuela es Licenciada en Geología, egresada de la Universidad Nacional de La Plata. Se desempeña como docente e investigadora en la UNPSJB.

Leonardo Fabio Ferro es Licenciado en Geología, egresado de la Universidad Nacional de La Plata. Se desempeña como docente e investigador en la UNPSJB.