

Diagnóstico ambiental de una antigua mina de tungsteno en Argentina

Environmental diagnosis of an ancient tungsten mine in Argentina

Natalia J. Marchevsky^{1*}, Andrea Giubergia¹, Miguel Ángel Beninato¹

¹Universidad Nacional de San Luis, Argentina

*Autor para la correspondencia: nmarchevsky@gmail.com

Resumen

Mina Los Cóndores, la más importante mina de tungsteno que se explotó en la República Argentina, tuvo su cierre definitivo en el año 1982 quedando en el lugar pasivos ambientales mineros con potencial afectación a la calidad de los diferentes elementos ambientales (agua, aire, flora, fauna, etc.). Este trabajo realizó la evaluación de impacto ambiental del lugar haciendo uso de una matriz de doble entrada, la cual identifica y caracteriza los impactos en las casillas de cruce. La importancia del pasivo ambiental sobre el ambiente receptor queda determinada a través de ciertas cualidades de este, que se introducen en una función que permite estimar finalmente el indicador *Importancia del Pasivo Ambiental* (IM). Los resultados revelaron que el elemento suelo resultó ser el factor ambiental con un impacto negativo crítico en relación a la afectación por generación de residuos. Además, los desechos sólidos dispuestos en el lugar dañan en forma severa los elementos agua y paisaje. Los resultados de esta investigación podrían servir para establecer un orden prioritario de las acciones de remediación que requiere el lugar.

Palabras clave: mina Los Cóndores; evaluación de impacto ambiental, pasivo ambiental; minería de tungsteno.

Abstract

Los Cóndores Mine, the most important tungsten mine exploited in Argentina, had its permanent closure in 1982, leaving mining environmental liable in place with potential impact on the quality of different environmental elements (water, air, flora, fauna, etc.). This work carries out an environmental impact

assessment of the place by using a double entry matrix, which identifies and characterizes the impacts on the crossing spaces. The importance of the environmental liable on the recipient environment is determined through certain qualities of it, which are introduced in a function that allows us to finally estimate the Importance of Environmental Liable (IM) indicator. Results revealed that the soil element turned out to be the environmental factor with a critical negative impact related to the affectation due to waste generation. In addition, the solid waste disposed in the place severely damages water and landscape elements. The results of this study could be used for establishing a priority order of remediation actions required by the place.

Keywords: Los Cóndores Mine; environmental impact assessment; environmental liable; tungsten mining.

1. INTRODUCCIÓN

La Ley Nacional 24.585, sancionada en el año 1995, regula el desarrollo de la actividad minera argentina en términos ambientales. Las explotaciones realizadas con anterioridad a esta ley estuvieron desprovistas de un marco regulatorio que contemplara el cuidado y preservación del medioambiente (Herrmann y Zappettini 2016). En consecuencia, existen hoy numerosos sitios que poseen pasivos ambientales mineros abandonados en distintas partes del país; en particular: minas Huemules y La Ferrocarrilera (provincia de Chubut) (Rack *et al.* 2017), minas Pan de Azúcar, Concordia y planta de tratamiento La Poma (región del Noroeste) (Kirschbaum *et al.* 2012); mina La Estancia (provincia de San Luis) (Kanneman *et al.* 2018), minas de Capillitas (Yaciuk *et al.* 2019) y Planta de Fundición Ingenio Muschaka (provincia de Catamarca) (Do Campo *et al.* 2020).

Ante los riesgos ambientales que suponen los antiguos sitios mineros, resulta imperioso efectuar trabajos que diagnostiquen la situación que existe en estos lugares. En tal sentido, los estudios de evaluación ambiental constituyen herramientas que, a través de su implementación, permiten conocer el grado de incidencia cuantitativo y cualitativo que tiene una actividad industrial como la minería sobre el medioambiente (Hernández-Columbié y Ulloa-Carcasés 2014; Calderón y Miranda 2018; Marchevsky, Giubergia y Ponce 2018).

Este trabajo presenta la evaluación ambiental de una antigua mina de tungsteno ubicada en la provincia de San Luis, Argentina. Haciendo uso de una matriz de evaluación y diagnóstico ambiental se propone identificar los distintos elementos ambientales (agua, aire, flora, fauna) que presenten

cierto grado de afectación derivada de sus pasivos ambientales mineros. Los elementos ambientales que resulten con una afectación negativa crítica podrían ser considerados como prioritarios en un eventual plan de remediación del lugar (García-Ubaque, García-Vaca y Agudelo-Rodríguez 2014; Marchevsky, Giubergia y Ponce 2018).

1.1. Antecedentes del lugar

Los Cóndores es una antigua mina de tungsteno que se encuentra ubicada en las Sierras de San Luis sobre la margen derecha del río Las Cañas, a 12 km de la localidad de Concarán, Departamento Chacabuco, en la provincia de San Luis, Argentina. Esta presenta una altitud de 550 m.s.n.m. y sus coordenadas geográficas son 32°32' S, 65°20' O (Zappettini *et al.* 1999).

Mina Los Cóndores es considerada el mayor emprendimiento de tungsteno del país y el segundo en Sudamérica (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte 2014). El yacimiento fue descubierto en 1897 y a lo largo de su historia tuvo períodos intermitentes de explotación. Mediante el uso de métodos gravitacionales y de flotación se recuperaron minerales de tungsteno, bismuto y cobre (Angelelli 1984). Hacia 1982 se produjo el cierre y abandono definitivo de la mina, dejando pasivos ambientales mineros que persisten hoy en día.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se utilizó en este trabajo es la descrita por García-Ubaque, García-Vaca y Agudelo-Rodríguez (2014), quienes efectuaron una adaptación del método de evaluación de impacto ambiental propuesto por Gómez-Orea (1999). Esta consiste en elaborar una matriz de doble entrada, la cual identifica y caracteriza los impactos en las casillas de cruce. Según la naturaleza de los efectos causados en el medio receptor se asigna un valor de importancia del pasivo ambiental analizado. Dicha metodología posibilita una estimación cualitativa y cuantitativa de los elementos, e identifica el impacto ambiental originado por una actividad específica sobre un factor ambiental. La importancia del pasivo ambiental sobre el ambiente receptor queda determinada a través de ciertas cualidades de este, que se introducen en una función. A partir de allí, se genera un índice único denominado importancia del pasivo ambiental (IM). La ecuación (1) describe la relación entre los componentes del indicador IM.

$$IM = NA (3 MG + 2 EX + DR + PE + RC + RV + PO + TD + TI) \quad (1)$$

Donde:

NA: naturaleza del impacto, si este es beneficioso (+) o dañino (-).

MG: magnitud. Cuantifica el grado de incidencia de la acción sobre el factor. Su rango comprende valores entre 1 (afectación mínima) y 8 (afectación máxima).

EX: extensión. Calcula el área de influencia teórica del impacto respecto al medio circundante al emprendimiento. Admite valores entre 1 (efecto localizado) y 8 (efecto generalizado en todo el entorno).

DR: duración. Pondera la persistencia del efecto desde su aparición y el momento en el cual el factor afectado retornaría a las condiciones originarias previas a la acción. El rango de valoración del impacto puede ser fugaz (valor 1 = duración del impacto < 1 año) a permanente (valor 12 = > 10 años).

PE: periodicidad. Establece la regularidad de manifestación del efecto. Puede ser irregular valor = 1 (forma impredecible) hasta continua, valor = 12 (constante a través del tiempo).

RC: recuperabilidad. Se refiere a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales, por medio de la intervención humana. En función de cuando es posible realizar las actividades de recuperación del impacto se establece el rango de valoración que oscila entre 1 (cuando es posible realizarlo en la fase del proyecto) y 12 (cuando estas tareas no son posibles).

RV: reversibilidad. Indica la posibilidad de que el factor afectado pueda regresar a las condiciones iniciales por medios naturales. Su clasificación se asigna en función del tiempo que demande este proceso; puede ser a corto plazo (valor 1 = <1 año) o irreversible (imposibilidad de retomar por medios naturales a las condiciones naturales, o hacerlo en un periodo mayor de 10 años).

PO: probabilidad de ocurrencia. Describe el tiempo que acontece entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el medio. En este caso la valoración va desde 1 (cuando el efecto tarda más de cinco años en manifestarse) hasta 4 (cuando sucede en el término de un año). En caso que suceda algún evento crítico en el momento del impacto se añaden cuatro unidades.

TD: tendencia. Se refiere al aumento paulatino de la manifestación del efecto cuando la acción que lo genera persiste de forma extendida o reiterada. Se le asigna un valor = 1 cuando el impacto es concreto y no induce nuevos efectos; o bien un valor = 2 cuando el efecto puede prolongarse en el tiempo y aumentar paulatinamente su peligro.

TI: tipo. Establece la relación causa/efecto. Se interpreta como la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción.

Adquiere el valor = 1 cuando la manifestación es indirecta en relación a la acción; o bien, valor = 2 cuando el efecto repercute inmediatamente en algún componente ambiental.

Un mayor detalle, así como las valoraciones intermedias de estos componentes, pueden encontrarse en el trabajo de García-Ubaque y demás colaboradores (2014).

Una vez obtenido el IM (ecuación 1), la importancia de un impacto, ya sea de naturaleza negativa o positiva, se determina teniendo en cuenta los criterios de calificación que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores para la clasificación de impactos (negativos/positivos)

Clasificación del impacto	Valores
Impactos irrelevantes	Impactos con valores de importancia menor a -25
Impactos moderados	Impactos con valores de importancia menor a -25 y -50
Impactos severos	Impactos con valores de importancia menor a -50 y -75
Impactos críticos	Impactos con valores de importancia menor a -75

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 muestra los resultados de la evaluación de impacto ambiental de mina Los Cóndores en su estado de abandono.

La Figura 1 exhibe una imagen satelital de la zona de estudio, donde se identifican los distintos relaves (R1, R2, R3), diques de cola (DC), la zona de campamento y la zona de subsidencia.



Figura 1. Imagen satelital de la antigua mina Los Córdores. Referencia: diferentes relaves (R), dique de cola (DC), río Las Cañas, zona de subsidencia y campamento.

Tabla 2. Matriz de calificación cualitativa y cuantitativa de pasivos ambientales de mina Los Córdores

Componente ambiental	Elemento ambiental	Etapa	Mina abandonada											Clasificación
			Criterios											
		Factor Ambiental	NA	MG	EX	DR	RV	RC	PE	TD	TI	PO	IM	
Atmosférico	Aire	Afectación por emisión de material particulado	(-)	1	1	1	1	8	1	1	1	1	-19	Irrelevante
		Afectación por emisión de gases de combustión	(-)	1	1	1	1	8	1	1	1	1	-19	Irrelevante
		Afectación por la generación de ruido	(-)	1	1	1	1	8	1	1	1	1	-19	Irrelevante
Físico	Suelo	Afectación por remoción de la capa orgánica	(-)	2	2	12	12	12	12	2	2	2	-64	Severo
		Afectación por procesos erosivos	(-)	2	2	12	8	12	8	2	1	2	-55	Severo
		Afectación por el cambio de drenaje superficial	(-)	4	4	12	8	12	8	1	2	2	-65	Severo
		Afectación por movimiento en masa	(-)	4	2	12	12	12	12	2	2	1	-69	Severo

		Afectación por la generación de residuos	(-)	8	2	12	12	12	12	2	2	2	-82	Critico
		Variación de la dinámica fluvial	(-)	4	4	4	12	12	12	1	1	2	-64	Severo
	Agua	Variación en las características físico-químicas (calidad) o sedimentación	(-)	4	4	4	8	12	12	1	2	4	-63	Severo
		Variación de las geoformas iniciales	(-)	4	4	12	12	12	12	2	1	2	-73	Severo
	Paisaje	Cambio en la percepción paisajística por la presencia de elementos extraños	(-)	4	4	12	12	12	12	2	2	2	-74	Severo
		Presencia de especies invasoras	(-)	1	1	1	4	8	1	1	1	2	-23	Irrelevante
	Flora	Disminución o muerte de individuos	(-)	1	2	4	4	8	1	1	2	2	-29	Moderado
		Remoción de la cobertura vegetal	(-)	4	2	12	12	12	12	2	2	4	-72	Severo
	Fauna	Migración de especies	(-)	2	2	4	4	8	1	1	1	4	-33	Moderado
		Disminución o muerte de individuos	(-)	2	2	4	4	8	1	1	2	4	-34	Moderado
		Generación de empleo	(-)	2	1	4	12	12	8	1	2	2	-49	Moderado
	Económico	Aumento del ingreso familiar	(-)	2	1	4	4	8	8	1	2	2	-37	Moderado
		Mejoramiento de la calidad de vida	(-)	2	1	4	4	8	8	1	2	2	-37	Moderado
	Social	Afectación de las vías públicas	(-)	1	1	4	1	8	1	1	2	1	-23	Irrelevante
		Generación de expectativas	(-)	2	1	4	8	8	8	1	2	1	-41	Moderado

3.1. Componente atmosférico

En la Tabla 2 se observa que el valor máximo para este componente ambiental fue de -19. De este modo, la incidencia del pasivo ambiental sobre

el elemento aire es irrelevante. En el establecimiento minero, no se registran acciones de manera permanente que puedan producir afectaciones por emisión de polvos o gases. Sin embargo, en el lugar se observan materiales de desecho (relaves, escombreras y dique de colas) en una gran extensión superficial (Figura 1).

El dique de colas está compuesto por partículas de granulometría más fina que las encontradas en los relaves analizados (resultados no mostrados en este trabajo). La acción del viento podría transportar partículas finas de minerales, aun cuando el dique de colas se encuentra emplazado en la parte más baja de una quebrada. Si bien no hay poblaciones cercanas (distancia mínima 12 km), sería conveniente realizar un estudio específico para determinar la fracción respirable de material particulado (menor a 10 micrones) que podría derivar de estos desechos.

3.2. Componente físico

3.2.1. Elemento suelo

Los resultados obtenidos para este elemento ambiental se clasifican como impactos ambientales de importancia severa y crítica (Tabla 2). Si bien la explotación de la mina fue realizada mediante laboreo subterráneo, se ha producido la pérdida de la capa orgánica de suelo, en una importante área del establecimiento minero. Según una estimación realizada haciendo uso de imágenes satelitales de Google Earth, de los aproximadamente 350 000 m² de superficie que abarca mina Los Cóndores 30 000 m² (8,5 %) se ven afectados por pasivos ambientales mineros.

La mayor contribución, en este sentido, la componen los materiales de desecho que se han podido identificar: relaves, escombreras, dique de cola, además de instalaciones edilicias abandonadas en el lugar. Las variaciones en el relieve, generadas por la acumulación de materiales de desechos, y la eliminación de la cubierta vegetal han provocado cambios importantes en el drenaje superficial del terreno. Estos factores han contribuido a la erosión del suelo del lugar. Por último, desde la superficie se evidencia, a lo largo de varios kilómetros, el movimiento en masa causado por el colapso de lo que fue una labor subterránea (Figura 2) de la mina.



Figura 2. Fotografía donde se observa la zona de subsidencia.

3.2.2. Elemento agua

El indicador IM obtenido para el elemento hídrico señala que el impacto es severo (Tabla 2). Los vestigios de la antigua mina causan alteraciones en la dinámica fluvial y en las propiedades físico-químicas de un curso natural de agua. Durante las crecidas, el río Las Cañas probablemente altera su curso ante los grandes volúmenes de desechos que se encuentran dispuestos en sus orillas. En ciertos lugares de su lecho se observan precipitados color ocre correspondiente a minerales secundarios de hierro, similar jarosita. La presencia de estos minerales es típica de los sistemas donde se han producido aguas ácidas derivadas de la oxidación de minerales sulfurados, principalmente pirita, lo cual provoca la movilización de cationes y la precipitación de minerales secundarios (Xie *et al.* 2018; Kopačková 2019). Estas alteraciones físico-químicas en las aguas del río Las Cañas también podrían afectar negativamente el suelo, la flora y la fauna del lugar.

3.2.3. Elemento paisaje

El análisis del elemento paisaje dio como resultado un valor de impacto de -73/-74, el cual se clasifica como severo, de acuerdo a la Tabla 2. En el sitio se observa una importante variación de las geoformas iniciales causada por la introducción de acopios importantes de materiales de desechos (Figura 3). Estos elementos han provocado cambios significativos en las formas y líneas del lugar, como también en la percepción paisajística (textura, escala y espaciado). Asimismo, se reconocen elementos ajenos al entorno

natural, como construcciones y maquinarias, todas ellas en estado de abandono.



Figura 3. Fotografía donde se visualiza la alteración paisajística causada por los acopios de relaves.

3.3. Componente biótico

3.3.1. Elemento flora

Los resultados obtenidos para este elemento muestran una incidencia negativa en un grado de importancia moderada y severa. La disminución o muerte de individuos y la remoción de la cobertura vegetal serían los factores ambientales más afectados. Un estudio realizado en el marco del Plan Tecnológico Regional señala que la vegetación en la región noreste de la provincia de San Luis está representada por bosques de quebracho y algarrobo, además de poseer estratos arbustivos de jarilla y retamo.

En las sierras la vegetación está formada por un bosque xerófilo de especies caducifolias; en el piso inferior puede encontrarse espinillo y tala (Colazo 2012). El acopio de grandes volúmenes de desechos, la construcción de instalaciones edilicias y el trazado de huellas y caminos son los principales factores que han dañado la flora autóctona en este lugar.

3.3.2. Elemento fauna

Los resultados obtenidos para este elemento se clasifican como impactos ambientales de importancia moderada. Cuando se llevó a cabo la explotación de la mina seguramente se produjo la migración de especies del lugar como también la disminución o muerte de individuos. De acuerdo con estudios recientes, la fauna está representada por el guanaco, del cual solo quedan poblaciones aisladas, el pecarí y el zorro gris. En los últimos tiempos se ha percibido un importante retroceso numérico debido a la caza desmedida que ocurre en la región (Colazo 2012).

3.4. Componente socio-económico

3.4.1. Elemento económico

Los valores obtenidos para este elemento fueron de -49/-37, por lo que se clasifican (Tabla 1), como impactos moderados. Al día de hoy, Los Cóndores es considerada la mina de tungsteno más importante del país. Su descubrimiento y puesta en marcha marcó un hito en el desarrollo de la minería del tungsteno (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte 2014). El cese definitivo de la explotación trajo aparejado consecuencias negativas en términos económicos, debido a la pérdida genuina de puestos de trabajo.

3.4.2. Elemento social

El análisis en cuanto al elemento social presentó resultados negativos para los factores mejoramiento en la calidad de vida y generación de expectativas, cuya clasificación del impacto son considerados de incidencia moderada. Para dar cuenta de la importancia que tuvo a nivel social este emprendimiento minero, es oportuno mencionar que hacia 1950, en este lugar existió un campamento que contaba con casas para obreros, personal técnico, administrativo y gerencial, proveedurías, hospital, escuelas, club deportivo y social, canchas de tenis, pileta de natación, cine y hotel para visitantes. Este campamento llegó a albergar 4 000 personas, entre ellos inmigrantes provenientes de países como Alemania, Polonia, Bolivia y Chile (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte 2014). La finalización de las operaciones mineras limitó en cierta medida las expectativas de los pobladores y el acceso a una mejor calidad de vida.

4. CONCLUSIONES

- Los datos relevados en la antigua mina Los Cóndores determinaron que el componente ambiental con afectación severa es el físico. Por un lado, se observa que el elemento suelo es el factor ambiental con un impacto negativo crítico en relación a la afectación por generación de residuos. Los volúmenes de desechos acopiados en el lugar justifican los valores obtenidos para dicho factor ambiental. Por otro lado, estas pilas de desechos producen una afectación negativa severa en diferentes factores ambientales del suelo como son: la pérdida o remoción de capa orgánica, procesos erosivos y cambios en el drenaje superficial del terreno; estos últimos aspectos podrían estar relacionados con las variaciones introducidas en el relieve y la eliminación de la cubierta vegetal.

- El impacto ambiental negativo causado por la acumulación de materiales de desecho trasciende el elemento ambiental suelo; registrándose también afectaciones severas en los factores agua y paisaje. Con relación al agua, la influencia podría evidenciarse por cambios en la dinámica fluvial del río Las Cañas, causada por los desechos acopiados en sus márgenes; como también, por posibles alteraciones de las características físico-químicas de sus aguas (evidencia de precipitados color ocre en su lecho).
- El paisaje presenta variaciones en las geoformas originales y en la percepción paisajística, esta última acompañada por la presencia de elementos extraños, como construcciones edilicias y extractivas, entre otras. Se destaca el impacto negativo severo del componente biótico en correspondencia con el elemento flora, originado por la remoción o pérdida de cobertura vegetal derivada del acopio de materiales de desechos en el lugar.
- Los resultados obtenidos en este estudio han permitido reconocer los pasivos ambientales que tienen incidencia ambiental severa negativa en la mina Los Cóndores. De este modo, los acopios de residuos identificados en el lugar constituirían el factor ambiental prioritario con visperas a realizar tareas de remediación y restauración en el lugar.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado al Proyecto de Investigación PROIPRO 3-1318 de la Universidad Nacional de San Luis, el cual permitió solventar viajes de campaña y la recolección de datos para realizar este trabajo.

6. REFERENCIAS

- Angelelli, V. 1984: *Yacimientos metalíferos de la República Argentina. Volumen I*. Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, La Plata, 379.
- Calderón, M. y Miranda, F. 2018: Evaluación ambiental preliminar en los campamentos de Diego de Almagro, Copiapó y Tierra Amarilla próximos a sitios de minería metálica. *Revista CIS*, 15(25): 35-53.
- Colazo, J. C. 2012. Recursos físicos y ambientales de los territorios de la provincia de San Luis. Propuesta de desarrollo regional y territorial para la provincia de San Luis. Plan tecnológico regional. Consulta: 20/12/2019. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-mprecursos_fisicos_y_ambientalesl_inta.pdf
- Do Campo, M.; Do Campo, M.; Valenzuela, M.; y Ferro, L. 2020: Dispersión de contaminantes a partir de residuos mineros de una antigua planta de

- fundición (Ingenio Maschuka) ubicada en el Distrito Choya (Andalgalá, Catamarca). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 77(2).
- García-Ubaque, C.; García-Vaca, M. y Agudelo-Rodríguez, C. 2014: Evaluación y diagnóstico de pasivos ambientales mineros en la Cantera Villa Gloria en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá DC. *Tecnura*, 18(42): 90-102.
- Gómez-Orea, D. 1999: *Evaluación del impacto ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa & Editorial Agrícola Española.
- Hernández-Columbié, T. y Ulloa-Carcasés, M. 2014: Impacto ambiental de la ampliación de una presa de colas de la industria cubana del níquel. *Minería y Geología*, 30(3): 33-48.
- Herrmann, C. y Zappettini, E. 2016: *Recursos Minerales, Minería y Medio Ambiente*. 2 ed. Buenos Aires: SEGEMAR.
- Kanneman, C.; Esquivel, M.; Perino, E.; González, J. y Marchevsky, N. 2018: Caracterización preliminar de desechos mineros de mina La Estancia, provincia de San Luis. En: XIV Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales. Catamarca, Argentina, 17-19 octubre, p. 103-112.
- Kirschbaum, A.; Murray, J.; Arnosio, M.; Tonda, R. y Cacciabue, L. 2012: Pasivos ambientales mineros en el noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(1): 248-264.
- Kopačková, V. 2019: Mapping Acid Mine Drainage (AMD) and Acid Sulfate Soils Using Sentinel-2 Data. En: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Yokohama, Japón, 28 jul-2 ago, p. 5682-5685.
- Marchevsky, N.; Giubergia, A. y Ponce, N. 2018: Evaluación de impacto ambiental de la cantera "La Represa", en la provincia de San Luis, Argentina. *Tecnura*, 22(56): 51-61.
- Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte 2014: *Plan Maestro de Minería 2014/2020. Tratado de paz entre progreso y medio ambiente*. Gobierno de la Provincia de San Luis, San Luis.
- Rack, M.; Nillni, A.; Campo, D.; Diana, M.; Valenzuela, M. y Ferro, L. 2017: Presencia de metales pesados en un suelo aledaño a una escombrera polimetálica en mina la ferrocarrilera, Lago Fontana. Chubut, Argentina. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 131: 81-85.
- Xie, Y.; Lu, G.; Yang, C.; Qu, L.; Chen, M.; Guo, C. y Dang, Z. 2018: Mineralogical characteristics of sediments and heavy metal mobilization along a river watershed affected by acid mine drainage. *PLOS ONE*, 13(1): e0190010.
- Yaciuk, P.; Lecomte, K.; Colombo, F. y Echegoyen, C. 2019: Caracterización y evolución geoquímica de un río de montaña asociado a explotación

minera: arroyo Capillitas. En: V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU). La Plata, Argentina, 12-14 junio, p. 106-109.

Zappettini, E.; Segal, S.; Godeas, M.; Brodtkorb, M. y Schalamuk, I. 1999: *Recursos minerales de la República Argentina*. Buenos Aires: SEGEMAR.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

NJM y AG: Experimentación, análisis de resultados, redacción del manuscrito, y revisión y aprobación de la versión final.

MAB: Experimentación, revisión y aprobación de la versión final

ORCID

NJM, <https://orcid.org/0000-0002-6457-8704>

AG, <https://orcid.org/0000-0002-9780-6291>

MAB, <https://orcid.org/0000-0002-8744-7643>

Recibido: 26/12/2019

Aceptado: 22/04/2020