



## Evaluación de riesgo ambiental generado por pasivo ambiental minero en la calidad de agua superficial

Evaluation of environmental risk generated by minimum environmental liability in the superficial water quality

Joel Jesús Cervantes Neira<sup>1</sup>; Samuel Jesús Quito Quilla<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. [joel.cerv88@gmail.com](mailto:joel.cerv88@gmail.com); [quito.sammy@gmail.com](mailto:quito.sammy@gmail.com)

Recepción: 03/02/2020; Aceptación: 15/05/2020

### Resumen

En el Perú se ha venido desarrollando la minería desde hace varios siglos, por ello no existía la preocupación de cerrar los componentes de una mina, ni remediar los impactos negativos generados por los Pasivos Ambientales Mineros (PAMs). Sin embargo, en la actualidad hay leyes que promueven la identificación, inventario, evaluación y remediación de los PAMs; pero el proceso de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) no se ha desarrollado lo suficiente. Este trabajo de investigación tiene como objetivo estimar el nivel de riesgo ambiental para los PAMs en la calidad de agua superficial de la localidad de San Miguel de Viso, siguiendo la metodología de la Guía de Evaluación de Riesgo Ambiental propuesta por el Ministerio del Ambiente (MINAM); y que tiene la característica principal de estimar los riesgos en el entorno humano, natural y socioeconómico estableciendo indicadores medibles para cada entorno. Los resultados obtenidos para los pasivos evaluados son que la tolva de mineral (PAS-1) y la bocamina (PAS-14) representan un nivel de riesgo moderado; y la relavera (PAS-8) y la bocamina (PAS-16) representan un nivel de riesgo significativo para la calidad de agua superficial, respectivamente.

**Palabras clave:** pasivo; riesgo; gravedad; probabilidad; peligro.

### Abstract

In Peru mining has been developing for several centuries, therefore there was no concern to close the components of a mine, or remedy the negative impacts generated by the Environmental Mining Liabilities (PAMs). However, at present there are laws that promote

**Forma de citar el artículo:** Cervantes, J.; Quito, S. 2020. Evaluación de riesgo ambiental generado por pasivo ambiental minero en la calidad de agua superficial. *Natura@economía* 5(1): 1-14 (2020).

DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ne.v5i1.1511>

\* Autor de correspondencia: Samuel Jesús Quito Quilla. Email: [quito.sammy@gmail.com](mailto:quito.sammy@gmail.com)

© Facultad de Economía y Planificación, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

the identification, inventory, evaluation and remediation of PAMs, but the Environmental Risk Assessment (ERA) process has not been developed sufficiently. This research work aims to estimate the level of environmental risk for PAMs in the quality of surface water in the San Miguel de Viso locality, following the methodology of the Environmental Risk Assessment Guide proposed by the Ministry of Environment (MINAM); and that has the main characteristic of estimating the risks in the human, natural and socioeconomic environment, establishing measurable indicators for each environment. The results obtained for the liabilities evaluated are that the ore hopper (PAS-1) and the pithead (PAS-14) represent a moderate level of risk; and the tailings deposit (PAS-8) and pithead (PAS-16) represents a significant level of risk for surface water quality, respectively.

**Keyword:** liabilities; risk; severity; probability; danger.

---

## 1. Introducción

El año 2010 el Ministerio del Ambiente (MINAM) publica la Guía de Evaluación de Riesgo Ambiental, esta guía es una herramienta de apoyo para la gestión ambiental con la finalidad de determinar los niveles de riesgo en un área geográfica, afectada o propensa a sufrir daños de origen antrópico o natural, basada en indicadores medibles y criterios de evaluación establecidos a partir de los estándares de calidad ambiental de la normativa nacional vigente o por las instituciones de derecho público internacional que sean aplicables. Esta guía analiza el entorno humano, que hace referencia a las personas potencialmente afectadas que residen dentro del área de influencia del área de estudio; el entorno natural, respecto a los recursos o elementos afectados que proveen vida; y el entorno socioeconómico, en referencia a la afectación a las diferentes actividades económicas o problemas socioambientales (MINAM, 2010).

En el año 2013 el MINAM mediante resolución de consejo directivo N°002-2013-OEFA/CD, se establece la metodología para la estimación del nivel de riesgo de pasivos ambientales en el subsector de hidrocarburos, la cual se toma en cuenta los lineamientos establecidos en la guía de evaluación de riesgo ambiental publicada por el MINAM (2010).

Según el Ministerio de Energía y

Minas (MINEM), los PAMs identificados aumentan cada año. El último inventario oficial realizado en el 2018 ha identificado ocho mil setecientos noventa y cuatro (8 794) pasivos mineros a nivel nacional; de los cuales el 29% se encuentran en gestión de remediación y/o reaprovechamiento y el 19% cuenta con un plan de cierre de pasivos aprobado. Por lo tanto el 71% solo está identificado, mas no se ha realizado un análisis de riesgo ambiental que generan estos pasivos al medio ambiente, específicamente al recurso hídrico.

El año 2011 el MINAM realizó la “Evaluación de Riesgos Ambientales de Emisiones Atmosféricas y Efluentes por Actividad Minera-Metalúrgica en la Provincia de Yauli – La Oroya”, basándose en la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales, analizando el factor humano, ecológico y socio económico llegando a las siguientes conclusiones; disminución de la población pecuaria, disminución de las áreas agrosilvopastoriles, disminución de los ingresos económico y alto costo de vida, nivel de riesgo ambiental en el entorno humano 86,65%, entorno natural 87,17% y entorno socioeconómico 80,5%. Así mismo un nivel de riesgo ambiental del 84,77% con un nivel significativo.

Los PAMs son todas aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, abandonadas o

inactivas (Art. 4 del D.S. N° 059-2005-EM. Reglamento de Pasivos ambientales en la actividad minera).

Según las fichas PERCAN aprobado mediante Resolución Directoral N° 173-2009-MINEM-DGM, los pasivos pueden ser según el tipo de labor minera (tajo, pique, chimenea, bocamina, tajeo comunicado, media barreta, trinchera y rampa), según residuos mineros (material de desbroce, desmonte de mina, escorias, pilas de lixiviación, relaves, residuos de carbón, lodos de neutralización y suelo orgánico), edificación infraestructura (campamentos, oficinas, talleres, caminos, helipuertos, pistas de aterrizaje, líneas férreas, líneas eléctricas, generadores, transformadores, planta de procesamiento, chancadoras, patios de testigo de perforación diamantina), sustancias químicas almacenadas o derrame (reactivos de proceso, aceites, combustibles, solventes, explosivos, cianuro y reactivos de laboratorio) y otros residuos (residuos industriales, domésticos y/o de construcción)

Como toda actividad productiva, la minería produce impactos. El término impacto según la dirección general de calidad ambiental del MINAM, hace referencia a cualquier cambio, modificatoria o alteración de los elementos del medio ambiente o de las relaciones entre ellos, causada por una o varias acciones (proyecto, actividad o decisión).

El mayor impacto ambiental de los PAMs se da por la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

La contaminación de agua se considera como tal, cuando se altera su composición de tal forma que resulta menos apta para cualquier o todas las funciones y propósitos para los que sería apropiada en su estado natural. Alteraciones tales como: propiedades físicas, químicas y biológicas, asimismo, la descarga de sustancia líquidas, gaseosas o sólidas que producirán alteraciones en las aguas, siendo un peligro para la salud pública, la ganadería, la agricultura y la

fauna acuática (Brack y Mendiola, 2004).

La contaminación de agua se debe a la liberación de contaminantes tóxicos contenidos en los residuos mineros y desde las obras mineras, los tajos abiertos, los socavones entre otros. Existen diferentes fuentes y mecanismos de liberación de estos contaminantes, el potencial de liberación de estos elementos y el riesgo asociado depende de las condiciones específicas del sitio, incluye el diseño, la operación de la extracción, del procesamiento de la extracción, gestión de residuos, calidad de medidas de mitigación, aspectos ambientales como el clima y la cercanía de los posibles receptores (Red Muqui, 2015).

La contaminación de suelo, se da por la remoción incontrolada de la capa vegetal y deforestación, en la fase extractiva de la explotación; puede abarcar considerables extensiones. Los procesos erosivos incontrolados producen cambios en el paisaje, asimismo, alteración en el drenaje, absorción de contaminantes transportados por vía aérea y luego depositados en el suelo (Brack y Mendiola, 2004).

En la contaminación del aire se da por la dispersión de sólidos en suspensión emitidos en cualquiera de las etapas de producción y el cierre. Así como los humos tóxicos que aniquilan la vegetación, afectan a la agricultura y la salud humana (Brack y Mendiola, 2004).

El impacto en la salud humana se da por las patologías respiratorias, oftalmológicas y problemas nerviosos (stress) en la población circundante, generados por ruidos, vibraciones, polvo y cambios del paisaje (Brack y Mendiola, 2004).

El impacto socioeconómico puede ser tanto directa como indirectamente por los proyectos mineros. Se puede incluir a las diferentes etnias y comunidades nativas compitiendo por recursos ambientales, es decir, la tierra y el agua que pueden ser reducidos en cantidad como resultado del

proyecto minero (Brack y Mendiola, 2004).

El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar el riesgo ambiental ocasionado por la presencia de pasivos mineros en la calidad del agua superficial de la localidad de San Miguel de Viso, distrito de San Mateo de Huánchor, provincia de Huarochirí, región de Lima, siendo los objetivos específicos, la identificación los PAMs, el diagnóstico de la calidad del agua superficial, la estimación del nivel de riesgo ambiental por la presencia de pasivos mineros, la priorización de los pasivos ambientales mineros que generen mayor riesgo en la calidad de agua superficial.

## 2. Materiales y métodos

Los materiales que se utilizaron Materiales fueron los que indica el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales aprobado mediante R.J. N° 010-2016-ANA; mapas cartográficos donde se utilizó el programa ArcMap, del área de estudio, la ficha de identificación de PAMs y la guía de evaluación de riesgo del MINAM.

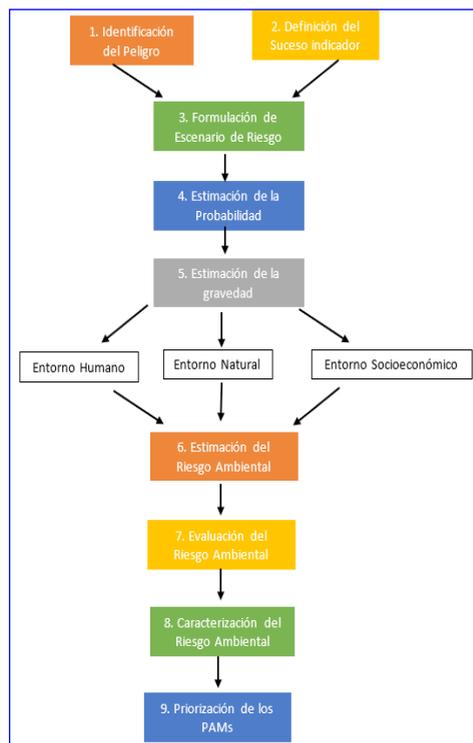
Antes de establecer el nivel de riesgo ambiental, primero se estableció la ubicación del área de estudio (localidad de San Miguel de Viso, distrito de San Mateo de Huánchor, provincia de Huarochirí). Luego, se procedió a preparar la evaluación preliminar, esta etapa consistió en la recopilación análisis de la mayor cantidad de información disponible referente al área de estudio en los entornos humano, natural y socioeconómico, dicha información permitió diseñar un mapa base preliminar del área de estudio donde se ubicó los PAMs existentes según el inventario MINEM.

Se realizó visitas al área de estudio en dos ocasiones; durante la primera visita campo se confirmó la existencia de los PAMs declarados en el inventario del Ministerio de Energía y Minas, en caso de identificar PAMs que no se encuentren en

dicho inventario, se requirió de una ficha de campo para su identificación, la misma que se elaboró según las fichas de campo PERCAN, también se validó y actualizó de la información obtenida en gabinete. Para fines del presente trabajo de investigación solo se evaluó la contaminación al agua superficial como único componente ambiental afectado, para cada uno de los PAMs que estén presentes en el área de estudio y se realizó diagnóstico de la calidad de agua. En el segundo viaje se realizó la toma de muestra de agua de los PAMs que generen drenaje.

## La estimación del riesgo ambiental

Se basó en la guía de evaluación de riesgo ambiental y la identificación de peligro, son todos los PAMs que generan drenaje, la identificación se realizó en campo y con ayuda de una ficha de campo (Figura 1).



**Figura 1.** Metodología de estimación de riesgo ambiental

Definición del suceso indicador, en esta etapa se estableció variables medibles que están determinados por los parámetros del diagnóstico de la calidad ambiental. Los parámetros analizados son todos aquellos que caracterizan a un PAM que presenta drenaje tales como (pH, metales, sulfatos, e entre otros).

**Formulación de escenario**, en esta etapa se estableció una serie de eventos, que origina potenciales consecuencias de contaminación a los tres entornos (humano, natural y socioeconómico) para cada suceso indicador

**Estimación de la probabilidad**, para poder determinar la probabilidad se asignó una escala de valoración que recomienda la guía de evaluación de riesgo, teniendo en cuenta el nivel de ocurrencia de la generación de drenaje que generan los PAMs si estos son continuos, intermitentes, y/o eventuales.

**Estimación de la gravedad**, para determinar esta variable se aplicó en forma diferenciada para cada entorno, natural, humano y socioeconómico conforme, siguiendo la siguiente fórmula.

En el entorno humano se determinó en función de la afectación a la salud de la población.

$$Salud=C+2(P)+E_h+Pbl$$

Donde: **C**, cantidad de concentración del contaminante. **P**, peligrosidad referido a la persona. **E<sub>h</sub>**, extensión en el entorno humano, distancia en (km) del PAM al centro poblado. **Pbl**, población, número de habitantes en el centro poblado.

Entorno natural se determinó en función de la afectación de la calidad del ambiente:

$$Calidad\ del\ amb=C+2(P)+E_n+CM$$

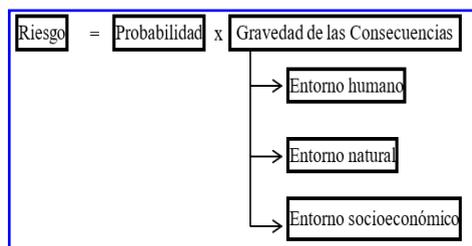
**C**, cantidad de concentración del contaminante. **P**, peligrosidad referido al medio ambiente. **E<sub>n</sub>**, Extensión en el entorno natural, distancia en (km) de influencia del impacto. **CM**, Calidad del medio, número de indicadores afectados en el componente agua que superan el ECA de agua Categoría A2.

En el entorno socioeconómico se determinaron en función de información recabada en campo.

$$Socioeconómico=C+2(P)+E_h+PCP$$

**C**, cantidad, número de conflictos socio ambientales, número de fuentes de agua contaminada por PAM para el riego de agricultura. **P**, peligrosidad, fase en la cual se encuentra el conflicto socioambiental, número de fuentes de agua que existe para el desarrollo de su agricultura. **E<sub>h</sub>**, extensión en el entorno humano, tiene el mismo valor que el En. **PCP**, patrimonio capital productivo, cantidad en porcentaje de parámetros que superan el ECA.

**Estimación del riesgo ambiental**: esta variable es el producto de la probabilidad por la gravedad de las consecuencias evaluado para cada escenario de riesgo en cada entorno (Figura 2).



**Figura 2.** Estimación del riesgo ambiental

**Evaluación del riesgo ambiental:** en esta etapa se interpretó el valor de estimación de riesgo determinado anteriormente, en una matriz de doble entrada según la escala de significación de riesgo en leve, moderado y significativo (Figura 3 y 4).

**Caracterización del riesgo ambiental:** en esta etapa se determinó el nivel riesgo ambiental para el PAM.

$$CR_{PAMs} = (EH + EN + ES) / 3$$

		Gravedad de las consecuencias				
		1	2	3	4	5
Probabilidad	1	E1				
	2	E1				
	3					
	4			E2		
	5					
		Valor Matricial	Equivalente porcentual (%)	Promedio (%)		
		16-25	64-100	82		
		6-15	24-60	42		
		1-5	1-20	10.5		

Figura 3. Matriz del riesgo ambiental

		Gravedad de las consecuencias				
		1	2	3	4	5
Probabilidad	1	E1				
	2	E1				
	3					
	4			E2		
	5					
		Valor Matricial	Equivalente porcentual (%)	Promedio (%)		
		16-25	64-100	82		
		6-15	24-60	42		
		1-5	1-20	10.5		

Figura 4. Escala de significancia de riesgo

CRPAMs, caracterización del Riesgo del PAM. EH, riesgo equivalente en el entorno humano. EN, riesgo equivalente en el entorno Natural. ES, riesgo equivalente en el entorno socioeconómico.

**Priorización de los PAMs:** en esta etapa se prioriza los valores obtenidos de porcentaje de la caracterización de riesgo ambiental,

en función de la escala de significancia de riesgo (Figura 4).

### 3. Resultados y discusión

#### Identificación de PAM

Para la identificación de los PAM se usó una ficha de campo identificación, donde se identificó 20 PAM de los cuales cuatro de ellos presentan drenaje, los mismos que se analizaron y se evaluaron para determinar el nivel de riesgo en la calidad de agua superficial. Asimismo, indicar que de los 20 PAM identificados dentro del área de estudio, 09 de ellos no se encontraban registrados dentro del inventario de pasivos del MINEM, estos pasivos son el PAS-1, PAS-12, PAS-13, PAS-15, PAS-16, PAS-17, PAS-18, PAS-19 y PAS-20.

#### Diagnóstico de la calidad de agua superficial

Para determinar el diagnostico se estableció cuatro puntos de monitoreo de los PAMs que generan drenaje, escorrentía y lixiviado, siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (Tabla 2).

Los parámetros que se analizaron in-situ fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica. Los parámetros analizados en laboratorio por la empresa SGS del Perú: solidos disueltos totales, arsénico total, cadmio total, cobre total, hierro total, manganeso total, plomo total, mercurio total, zinc total, sulfato.

Para determinar el nivel de riesgo que generan los PAMs en la calidad de agua superficial se hizo mediante la comparación de los parámetros con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de la categoría 1-A2, conforme la resolución Jefatural N° 56-2018-ANA, que clasifica con el código de curso 1375545 perteneciente a la cuenca del Rímac (Tabla 3).

**Tabla 1.** Identificación de PAM

Nº	Código PAM	Tipo de Pasivo	Coordenadas		Zona	Distancia al Centro Poblado	Comentarios
			Norte	Este			
1	PAS-1	Tolva de mineral	8 694 527	354 470	18S	1,20 km	A 50 metros de la quebrada de Viso
2	PAS-2	Bocamina	8 694 473	354 541	18S	1,11 km	No hay presencia de cuerpos receptores
3	PAS-3	Taller	8 694 489	354 554	18S	1,10 km	No hay presencia de cuerpos receptores
4	PAS-4	Desmante de mina	8 694 238	356 285	18S	0,69 km	No hay presencia de cuerpos receptores
5	PAS-5	Desmante de mina	8694 113	356 396	18S	0,84 km	No hay presencia de cuerpos receptores
6	PAS-6	Infraestructura	8 693 916	356 714	18S	1,22 km	No hay presencia de cuerpos receptores
7	PAS-7	Campamento	8 693 774	356 808	18S	1,37 km	No hay presencia de cuerpos receptores
8	PAS-8	Relavera	8 693 841	356 789	18S	1,32km	Hay presencia de filtraciones y empozamientos en calicatas
9	PAS-9	Campamento	8693 747	356 837	18S	1,41 km	No hay presencia de cuerpos receptores
10	PAS-10	Rampa	8 693 756	356 864	18S	1,43 km	No hay presencia de cuerpos receptores
11	PAS-11	Planta de Procesamiento	8 693 716	356 833	18S	1,43 km	No hay presencia de cuerpos receptores
12	PAS-12	Tolva de mineral	8 693 734	356 849	18S	1,43 km	No hay presencia de cuerpos receptores
13	PAS-13	Tolva de mineral	8 693 745	356 886	18S	1,45 km	Presencia de cuerpo receptor a 4 metros
14	PAS-14	Bocamina	8 693 744	356 935	18S	1,50 km	Presencia de cuerpo receptor a 4 metros
15	PAS-15	Infraestructura	8 693 766	357 078	18S	1,61 km	No hay presencia de cuerpos receptores
16	PAS-16	Bocamina	8 693 963	357 116	18S	1,56 km	No hay presencia de cuerpos receptores
17	PAS-17	Chatarra	8 693 972	357 095	18S	1,54 km	No hay presencia de cuerpos receptores
18	PAS-18	Relavera	8 694 190	357 157	18S	1,54 km	No hay presencia de cuerpos receptores
19	PAS-19	Campamento	8 694 103	357 094	18S	1,50 km	No hay presencia de cuerpos receptores
20	PAS-20	Bocamina	8 694 185	356 301	18S	0,72 km	No hay presencia de cuerpos receptores

En la [Tabla 3](#) se puede observar que para el punto PAS-1 el 43% de los parámetros superan el ECA, para el PAS-8 el 93% de los parámetros su superan el ECA, para el PAS-14 el 57% de los parámetros superan el ECA, para el PAS-16 el 86% de los parámetros superan el ECA.

### Estimación del riesgo ambiental

En las [Figuras 5, 6 y 7](#), donde se muestra el grado de significancia del riesgo obtenido de los escenarios de riesgo del entorno humano, natural y socioeconómico para el PAS-1, respectivamente. Donde la generación de aguas con variación significativa de temperatura representa un riesgo leve y aquellas con contenido de sólidos disueltos totales, pH, conductividad eléctrica,

sulfatos, aluminio, arsénico, cobre, hierro, mercurio y plomo representan un riesgo moderado para el entorno humano; mientras que la generación de aguas con contenido de cadmio, manganeso y zinc representan un riesgo significativo ([Figuras 5](#)). Además, las aguas con contenido de aluminio, arsénico, cobre, hierro, mercurio, plomo, temperatura y pH representan un riesgo moderado para el entorno natural; mientras que la generación de aguas con contenido de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, sulfato, manganeso y zinc representan un riesgo significativo ([Figuras 6](#)). En los conflictos socio ambientales y el riego de áreas agrícolas con aguas contaminadas representan un riesgo moderado para el entorno socioeconómico ([Figuras 7](#)).

**Tabla 2.** Identificación de puntos de monitoreo de agua superficial

Punto	Coordenadas UTM		Descripción
	Este	Norte	
PAS-1	8 694 527	354 470	Tolva de mineral
PAS-8	8 693 841	356 789	Relavera
PAS-14	8 693 744	356 935	Bocamina
PAS-16	8 693 963	357 116	Bocamina

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO NATURAL				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5			°T, Ph, Al, As, Cu, Fe, Hg, Pb	CE, STD	SO <sub>4</sub> , Cd, Mn, Zn

**Figura 6.** Riesgo ambiental del entorno natural para el PAS-1**Tabla 3.** Resultados de la calidad de agua

Parámetros	Unidad	PAS-1	PAS-8	PAS-14	PAS-16	ECA
Temperatura	°c	14	6,8	6,7	6,3	<8,22-14,22>
pH	pH	7,3	<b>2,24</b>	<b>5,42</b>	<b>2,32</b>	<5,5-9-0>
Conductividad Eléctrica	uS/cm	<b>1840</b>	<b>5450</b>	1534	<b>5820</b>	1600
Sulfatos	mg/L	<b>1385,31</b>	<b>2404,65</b>	<b>1002,56</b>	<b>2113,85</b>	500
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	<b>1826</b>	<b>5064</b>	<b>1452</b>	<b>6040</b>	1000
Aluminio Total	mg/L	0,109	<b>65,356</b>	1,282	<b>22,283</b>	5
Arsénico Total	mg/L	0,0024	<b>151,39722</b>	<b>0,10512</b>	<b>121,43509</b>	0,01
Cadmio Total	mg/L	<b>0,06209</b>	<b>1,13539</b>	<b>0,07756</b>	<b>2,17927</b>	0,005
Cobre Total	mg/L	0,07161	<b>20,00241</b>	0,70445	<b>29,88764</b>	2
Hierro Total	mg/L	0,9946	<b>1481,3644</b>	<b>2,8783</b>	<b>745.9291</b>	1
Manganeso Total	mg/L	<b>5,11521</b>	<b>12,558</b>	<b>5,35218</b>	<b>16,77209</b>	0,4
Mercurio Total	mg/L	<0,00009	<b>0,01125</b>	<0,00009	<0,00009	0,002
Plomo Total	mg/L	0,0014	<b>800,030</b>	<b>0,2174</b>	<b>2,7196</b>	0,05
Zinc Total	mg/L	<b>16,2195</b>	<b>260,3914</b>	<0,00045	<b>493,9288</b>	5
Porcentaje de parámetros que superan el ECA		43%	93%	57%	86%	

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO HUMANO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5	°T,	STD, Al	pH, CE, SO <sub>4</sub> , As, Cu, Fe, Hg, Pb	Cd, Mn, Zn	

**Figura 5.** Riesgo ambiental del entorno humano para el PAS-1

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO SOCIOECONÓMICO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5		Conflictos socio ambientales causados por PAMs	Riego de áreas agrícolas con aguas contaminadas por PAMs		

**Figura 7.** Riesgo ambiental del entorno socioeconómico para el PAS-1

Por otra parte, también se presentan las Figuras 8, 9 y 10, donde se muestra el grado de significancia del riesgo obtenido de los escenarios de riesgo del entorno humano, natural y socioeconómico para el PAS-8, respectivamente. Donde la generación de aguas con variación significativa de temperatura representa un riesgo leve y aquellas con contenido de sólidos disueltos totales, pH, y sulfatos representan un riesgo moderado para el entorno humano; mientras que la generación de aguas con contenido de conductividad eléctrica, aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plomo y zinc representan un riesgo significativo (Figura 8). Además, la generación de aguas con variación significativa de temperatura representa un riesgo moderado para el entorno natural; mientras que la generación de aguas con contenido de pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, sulfato, aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plomo y zinc representan un riesgo significativo (Figura 9). Finalmente, los conflictos socio ambientales y el riego de áreas agrícolas con aguas contaminadas representan un riesgo moderado para el entorno socioeconómico (Figura 10).

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO HUMANO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1	Green	Green	Green	Green	Green
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	3	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	4	°T	SO4, STD	Ph, CE	Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn	Red
	5	Green	Yellow	Yellow	Red	Red

**Figura 8.** Riesgo ambiental del entorno humano para el PAS-8

En las Figuras 11, 12 y 13, donde se muestra el grado de significancia del riesgo,

entorno humano, natural y socioeconómico para el PAS-14, respectivamente. Donde la generación de aguas con variación significativa de temperatura representa un riesgo leve y aquellas con contenido de sólidos disueltos totales, pH, conductividad eléctrica, sulfatos, aluminio, cobre, mercurio y zinc representan un riesgo moderado para el entorno humano; mientras que la generación de aguas con contenido de arsénico, cadmio, hierro, manganeso y plomo representan un riesgo significativo (Figura 11). Además, la generación de aguas con variación significativa de temperatura, conductividad eléctrica, con contenido de aluminio, cobre, mercurio y zinc representan un riesgo moderado para el entorno natural; mientras que la generación de aguas con contenido de pH, sólidos disueltos totales, sulfato, arsénico, cadmio, hierro, manganeso y plomo representan un riesgo significativo (Figura 14). Finalmente, los conflictos socio ambientales y el riego de áreas agrícolas con aguas contaminadas representan un riesgo moderado para el entorno socioeconómico (Figura 13).

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO NATURAL				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1	Green	Green	Green	Green	Green
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	3	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	4	Green	Yellow	°T	pH	CE, STD, SO4, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn
	5	Green	Yellow	Yellow	Red	Red

**Figura 9.** Riesgo ambiental del entorno natural para el PAS-8

En las Figura 14, 15 y 16, donde se muestra el grado de significancia del riesgo, entorno humano, natural y socioeconómico para el PAS-16, respectivamente. Donde la generación de aguas con variación

significativa de temperatura representa un riesgo leve y aquellas con contenido de sulfatos, sólidos disueltos totales, pH y mercurio representan un riesgo moderado para el entorno humano; mientras que la generación de aguas con variación de conductividad eléctrica y con contenido de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc representan un riesgo significativo (Figura 14). Además, la generación de aguas con variación de temperatura y con contenido de mercurio representan un riesgo moderado para el entorno natural; mientras que la generación de aguas con variaciones de pH y conductividad eléctrica, con contenido de sólidos disueltos totales, sulfato, aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc representan un riesgo significativo (Figura 15). Y en los conflictos socioambientales y el riego de áreas agrícolas con aguas contaminadas representan un riesgo moderado para el entorno socioeconómico (Figura 16).

### Caracterización del riesgo ambiental

Para la priorización de lo PAMs se utilizó los valores de porcentaje obtenido de la evaluación de riesgo ambiental para cada pasivo conforme con las Tablas 4, 5, 6 y 7; la misma que se compara con la escala de significancia de riesgo de la Figura 4 para identificar en nivel de riesgo. Por tanto, en la Tablas 8 se muestra que la tolva de mineral (PAS-1) y la bocamina (PAS-14) representan un riesgo moderado para la calidad de agua superficial. Asimismo, la relavera (PAS-8) y la bocamina (PAS-16) representan un riesgo significativo a la calidad de agua superficial; y por tanto, estos dos últimos pasivos deben ser considerados como de atención prioritaria para su remediación.

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO SOCIOECONÓMICO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1	Green	Green	Green	Green	Green
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	3	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	4	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	5	Green	Yellow	Yellow	Red	Red

Figura 10. Riesgo ambiental del entorno socioeconómico para el PAS-8

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO HUMANO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1	Green	Green	Green	Green	Green
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	3	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	4	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	5	T	SDT	pH, CE, SO <sub>4</sub> , Al, Cu, Hg, Zn	As, Cd, Fe, Mn, Pb	Red

Figura 11. Riesgo ambiental del entorno humano para el PAS-14

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO NATURAL				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1	Green	Green	Green	Green	Green
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	3	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	4	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	5	Green	Yellow	T, CE, Al, Cu, Hg, Zn	pH, SDT	SO <sub>4</sub> , As, Cd, Fe, Mn, Pb

Figura 12. Riesgo ambiental del entorno natural para el PAS-14

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO SOCIOECONÓMICO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1	Green	Green	Green	Green	Green
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	3	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	4	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	5	Green	Yellow	Yellow	Red	Red

Figura 13. Riesgo ambiental del entorno socioeconómico para el PAS-14

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO HUMANO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5	°T	SO <sub>4</sub> , SDT	pH, Hg	CE, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	

**Figura 14.** Riesgo ambiental del entorno humano para el PAS-16

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO NATURAL				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5			°T, Hg	pH	CE, SO <sub>4</sub> , SDT, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn

**Figura 15.** Riesgo ambiental del entorno natural para el PAS-16

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO SOCIOECONÓMICO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5		Conflictos socio ambientales causados por PAMs	Riego de áreas agrícolas con aguas contaminadas por PAMs		

**Figura 16.** Riesgo ambiental del entorno socioeconómico para el PAS-16

**Tabla 14.** Riesgo ambiental para el PAS-1

Pasivo	Entorno	Equivalente (%)	Promedio (%)	Riesgo % del pasivo
PAS-1	Humano	48,32	42	42
	Natural	59,14	42	
	Socio-económico	42	42	

**Tabla 5.** Riesgo ambiental para el PAS-8

Pasivo	Entorno	Equivalente (%)	Promedio (%)	Riesgo % del pasivo
PAS-8	Humano	68,32	82	69
	Natural	79,14	82	
	Socio-económico	42	42	

**Tabla 6.** Riesgo ambiental para el PAS-14

Pasivo	Entorno	Equivalente (%)	Promedio (%)	Riesgo % del pasivo
PAS-14	Humano	54,04	42	55
	Natural	67,71	82	
	Socio-económico	42	42	

**Tabla 7.** Riesgo ambiental para el PAS-16

Pasivo	Entorno	Equivalente (%)	Promedio (%)	Riesgo % del pasivo
PAS-16	Humano	65,46	82	69
	Natural	76,29	82	
	Socio-económico	42	42	

**Tabla 8.** Nivel de riesgo ambiental

Pasivos	ID	Riesgo % del pasivo	Nivel de Riesgo
Tolva de mineral	PAS-1	42	Moderado
Relavera	PAS-8	69	Significativo
Bocamina	PAS-14	55	Moderado
Bocamina	PAS-16	69	Significativo

#### 4. Conclusiones

La microcuenca de Viso presenta un 46 pasivos registrados en el inventario del MEM. Sin embargo, en el área de estudio se identificó 20 PAMs, de los cuales nueve de ellos no se encuentran registrados en el inventario. Mientras que, los cuatro PAM que presentaron drenajes, se definieron 14

parámetros a monitorear y con respecto al ECA de agua categoría 1- A2, del PAS-1, PAS-8, PAS-14 y PAS-16 el 43%, 93%, 57% y 86% de los parámetros evaluados superaron el ECA, respectivamente. Además, el S04, SDT, Cd y Mn sobrepasan el ECA en los cuatro puntos de monitoreo.

El nivel de riesgo ambiental para el PAS-1 en el entorno humano 48,32%, natural 59,14% y socioeconómico 42%, para el PAS-8 en el entorno humano 68,32%, natural 79,14% y socioeconómico 42%, para el PAS-14 en el entorno humano 54,04%, natural 67,71% y socioeconómico 42% y para el PAS-16 en el entorno humano 65,46%, natural 76,29% y socioeconómico 42%.

La metodología de evaluación de riesgo del MINAM, es una herramienta que usa criterios cualitativos y cuantitativos a través de indicadores medibles; a diferencia de la metodología que actualmente usa el MINEM que son las fichas PERCAN para la evaluación y priorización que se basa en criterios cualitativos. Los criterios de valoración para el entorno socioeconómico son mucho más dinámicos, a diferencia del entorno humano y natural que están más relacionados al diagnóstico de la calidad de agua. Dichos criterios se establecieron en función de la realidad de San Miguel de Viso y los escenarios de riesgo propuestos son conflictos socio ambientales y afectación al riego para la agricultura.

### Literatura citada

- Aranda A. 2013. Pasivos ambientales mineros en el Perú. Lima, Perú. 3pp.
- Aramburo M. 2011. Requerimientos para el diseño de una metodología que permita estimar el valor pasivo ambientales mineros. Tesis de grado para optar al título de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- ANA [Autoridad Nacional del Agua]. 2018 R.J. N°056-2018-ANA. Aprobación de la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales.
- ANA [Autoridad Nacional del Agua]. 2016 R.J. N°010-2016-ANA. Aprobación del protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de agua de los recursos hídricos superficiales.
- Barreño, C. 2018. Evaluación de los riesgos generados por pasivos ambientales en la minería de carbón, con enfoque de ecología política: estudio de caso municipio de Rondon (Boyacá). Bogotá, Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 24-30pp.
- Brack y Mendiola. 2004. Ecología del Perú-Bruño.
- Castro, V. 2013. Análisis de la percepción ambiental de la población de San Miguel de Viso sobre la influencia de las actividades mineras en la calidad de agua. Lima, Perú, UNALM. 21-23, 45pp.
- Congreso de la Republica 2004. Ley marco del sistema nacional de gestión ambiental, aprobada mediante la Ley N° 28245.
- Congreso de la Republica 2005. Modificatoria de los Artículos 5, 6, 7, 8, la primera disposición complementaria y final de la Ley N° 28271, ley que regula los pasivos ambientales en la actividad minera, y le añade una tercera disposición complementaria y final aprobada mediante Ley N° 28526.
- Congreso de la Republica 2004. Regula los pasivos ambientales en la actividad minera, aprobado mediante la Ley N° 28271.
- Congreso de la Republica 2003. Ley que regula el cierre de minas, aprobada me.

- De la Puente, L. 2007. Regulación Ambiental Peruana y el ciclo de una mina. Lima, Perú. DELAPUENTE Abogados.
- Defensoría del Pueblo. 2018. Reporte de conflictos sociales. Adjuntía para la prevención de conflictos sociales y la gobernabilidad. Lima, Perú. Reporte N° 176. Disponible en: <https://www.defensoria.gob.pe/documentos/reportes-mensuales-de-conflictos-sociales-n-176/>
- DGAAM [Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros]. 2013. MEM concluye remediación y cierre de 64 pasivos mineros en Cajamarca. Consultada el 18 de Septiembre del 2013. Disponible en: [http://www.minem.gob.pe/\\_detallenoticia.php?idSector=4&idTitular=5684](http://www.minem.gob.pe/_detallenoticia.php?idSector=4&idTitular=5684).
- DGAAM [Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros]. 2010. Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros.
- DGM [Dirección General de minería]. 2009. Fichas de campo propuestas por el proyecto PERCAN para la identificación de pasivos ambientales mineros dentro de una ex unidad minera, aprobada mediante Resolución Directoral N° 173-2009MEM-DGM.
- FONAM [Fondo Nacional del Ambiente]. 2006. Inventario, diagnóstico y priorización de los pasivos ambientales en la cuenca del río Llaucano - Hualgayoc.
- INGEMENT. [Instituto Geológico Minero y Metalúrgico]. 1983. Geología de los cuadrángulos de: Matucana y Huarochirí. Lima, Perú. Boletín N° 36.
- INGEMENT. [Instituto Geológico Minero y Metalúrgico]. 2005. Estudio de los recursos minerales del Perú, Franja N° 4. Lima, Perú. Boletín N° B14.
- Leturia J. 2008. Remediación de pasivos ambientales mineros y aprovechamiento económico. Revista peruana de derecho de la empresa. Perú 23-65-129-147pp.
- María Ayora 2010. Análisis de aguas naturales y residuales. Universidad de Jaén– España.
- MINAM [Ministerio del Ambiente]. 2010 Guía de evaluación de riesgo ambiental.
- MINAM [Ministerio del Ambiente]. 2012. Glosario de términos para la formulación de proyectos ambientales.
- MINAM [Ministerio del Ambiente]. 2012. Metodología para la estimación del nivel de riesgo de pasivos ambientales en el subsector hidrocarburos.
- MINAM [Ministerio del Ambiente]. 2017. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, aprobado mediante D.S. N° 004-2017-MINAM. Lima, Perú.
- MINEM [Ministerio de Energía y Minas]. 2005. Modifican reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera aprobado por DS N°059-2005-EM mediante el DS N° 003-2009EM. Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú.
- MINEM [Ministerio de Energía y Minas]. 2005. Reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera aprobado mediante el DS N° 059-2005-EM. Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú.
- MINEM [Ministerio de Energía y Minas]. 2010. R.M. N° 129-2010-MEM/DM Disponen que el Estado asuma la remediación de los pasivos ambientales mineros calificados de muy alto riesgo y alto riesgo ubicados en la región Cajamarca.

- MINEM [Ministerio de Energía y Minas]. 2013 R.M. N° 094-2013-MEM/DM. Encargan a la empresa estatal Activos Mineros S.A.C. ejecutar la remediación de los pasivos ambientales mineros de diversos proyectos ubicados en las regiones Áncash, Lima Cajamarca, Huancavelica, Pasco, Junín e Ica.
- MINEM [Ministerio de Energía y Minas]. 2015 R.M. N° 045-2015-MEM/DM se dispone que el Estado asuma la remediación de 134 pasivos ambientales mineros de diversos proyectos de remediación ubicados en las regiones de Ancash, Lima, Puno y Cajamarca.
- OIT [Organización Internacional de Trabajo]. 2012 enciclopedia de salud seguridad en el trabajo Capítulo 63 “Metales: Propiedades químicas y tóxicas”.
- OMS [Organización Mundial de la Salud]. 2018 cuarta edición. “Guía para la calidad de agua de consumo humano”.
- RED MUQUI. 2010. Los Pasivos ambientales mineros: Diagnóstico y propuesta. 11-12pp.
- SERNAGEOMIN [Servicio Nacional de Geología y Minería]. 2008. Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P – Chile.
- SNMPE [Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía]. Diciembre. 2006. Informe N°41 El ciclo productivo de la minería.
- Sotomayor, A. 2016. Remediación de pasivos ambientales mineros como estrategia para el cuidado del ambiente (trabajo presentado en la Conferencia Académica Anual del Consorcio, octubre, 2015). En Consorcio de Universidades (Ed.), Metas del Perú al bicentenario (pp. 241-246). Lima: Consorcio de Universidades.
- UNE 150008: 2008. Análisis y evaluación del riesgo ambiental.
- Walter, M. 2009. Conflictos ambientales, socioambientales, ecológicos distributivos de contenido ambiental. Madrid, España. Pág 3 CIP-ECOSOCIAL (Centro de la investigación para la paz).
- Yipari, A. 2003. Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica Informe elaborado para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales – BGR, y el Servicio Nacional de Geología y Minería – SERNAGEOMIN.