

## Estudio de la hidrodinámica de filtraciones entre 4550 y 4600 msnm en una mina polimetálica

Enoc Mamani\*, Gerardo Maghella, José Maguiña

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

En el presente trabajo se determina el origen de las aguas de filtraciones en el interior de una mina ubicada entre los niveles 4550 y 4600 msnm, que podría estar interconectada con aguas de una laguna superficial aledaña a la mina. Para el estudio se utilizó la técnica de isótopos ambientales y química del agua y los resultados indican que las filtraciones en el interior de la mina no tienen conexión con la laguna superficial aledaña y la fuente de agua de las filtraciones al interior de la mina provienen de bolsones de agua y/o filtraciones en una recarga lenta.

### Abstract

The present work determines the source of the water leak inside a mine located between the levels 4550 and 4600 m, which could be interconnected with surface water of lagoon nearby to the mine. To study we use the technique of environmental isotopes and water chemistry and the results indicate that the leaks inside the mine are not connected with the surrounding surface lagoon, and the fountain water leakage into the mine come from pockets of water and / or leakage in a trickle charge.

### 1. Introducción

La unidad minera en estudio se ubica en el distrito de Cayarani, provincia de Arequipa que van entre 4400 y 4800 msnm, a una hora del pueblo de Orcopampa[1]; se identificaron 13 puntos de monitoreo en total para la realización del estudio de la hidrodinámica y poder establecer la procedencia de las filtraciones en el interior de la mina y la posible conexión entre las filtraciones con las aguas superficiales y manantiales aledaños; para ello se efectuaron muestreos para análisis químicos, isotópicos.

#### 1.1 Marco hidrogeológico de la zona de estudio

La zona se caracteriza por presentar un relieve de valle aluvial, altiplanicies y colinas moderadamente empinadas y escarpadas; y se encuentra en una quebrada de origen glaciar, delimitada por afloramientos rocosos de naturaleza ígnea, conformados por capas de andesita, dacita y traquiandesitas[2]. La permeabilidad de las rocas volcánicas puede variar significativamente debido a la heterogeneidad del medio volcánico; las rocas volcánicas de composición basáltica presentan mayor permeabilidad que las rocas volcánicas más ácidas, y las lavas más modernas son más permeables que las más antiguas[3].

### 2. Desarrollo experimental

#### 2.1 Materiales y equipos

- Espectrómetro Láser, marca LGR
- pHmetro marca WTW modelo multi 350i
- Conductivímetro, modelo 44600, marca Hach
- GPS, modelo MAP 76S
- Papel filtro Nro. 42
- Mapas cartográficos
- Envases de 50, 500 y 1000 ml

#### 2.2 Metodología

Se aplicó la técnica de isótopos ambientales Oxígeno-18 (O-18) y Deuterio (H-2) como trazadores naturales del movimiento de las aguas en el subsuelo tales como manantiales y surgencias, consiste inicialmente en caracterizar isotópicamente el agua que ocupa el interior de la mina en los niveles 4550 y 4600, el agua que aflora a través de manantiales, lagunas y bofedales en los alrededores de la mina y las aguas superficiales que integran la escorrentía de cursos de agua permanente. La toma de datos comprendió:

- Medición de parámetros hidrogeológicos de la zona de estudio.

\* Correspondencia autor: emamani@ipen.gob.pe

- Toma de muestras de aguas superficiales georeferenciadas y registro de parámetros físico-químicos de campo en un volumen de 50 ml para análisis de H-2 y O-18, una muestra de 500 ml para aniones, 500 ml para cationes, 500 ml para metales pesados y de 1000 ml para análisis de tritio (H-3).
- Etiquetado de muestras de agua y envío a laboratorio para su análisis isotópicos O-18, H-2, H-3 y químicos de aniones y cationes.
- Interpretación de los resultados del análisis isotópico y químicos mediante diagramas, caracterización del agua de filtraciones del interior de la mina.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Análisis químicos

Los análisis químicos de aguas de aniones y cationes de elementos mayores tomados en interior e inmediaciones de la mina fueron realizados en los laboratorios de SGS del Perú (Tabla 1), en donde podemos apreciar que las aguas tienen un contenido apreciable de ion sulfato y calcio.

**Tabla 1.** Resultados del análisis químico de aguas (SGS).

Nº Mtra	Ubicación	Análisis químicos, elementos Mayores (mg/l)								
		Aniones				Cationes				
		CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca	Mg	Na	K	Si
1	Pto. 1 - Galería	<0.5	0,07	27,0	0,60	13,24	1,05	1,29	3,4	7,7
2	Pto. 2 - Galería	<0.5	0,04	21,1	0,51	1,67	0,26	0,78	2,3	7,2
3	Pto. 3 - Galería	<0.5	0,04	22,2	0,54	3,26	0,30	1,09	2,6	7,5
4	Pto. 4 - Galería	<0.5	0,07	65,8	3,47	5,29	0,47	2,2	1,8	8,2
5	Pto. 5 - Galería	<0.5	0,05	51,1	0,65	8,61	0,47	1,67	2	8,8
6	Pto. 6 - Galería	<0.5	0,01	52,9	2,46	7,54	0,62	1,94	2,4	9,1
7	Pto. 7 - Galería	<0.5	0,01	43,5	2	8,5	0,58	1,74	2,8	8,5
8	Laguna Superficial Pto. 1	<0.5	0,03	3,1	0,12	4,5	0,76	2,42	2,7	0,25
9	Laguna Superficial Pto. 2	<0.5	0,04	2,0	0,63	4,60	0,69	2,48	2,9	0,25
10	Bofedal 1	<0.5	0,13	25,5	2,71	21,41	2,90	14,58	11,5	1,9
11	Bofedal 2	<0.5	0,40	28,6	4,36	19,98	7,14	5,8	4,8	64,6
12	Manantial	<0.5	0,06	83,2	0,40	21,71	8,85	6,78	2,8	29,2
13	Río	<0.5	0,04	50,3	0,49	10,18	1,34	4,99	4,5	22,7

#### a) Hidrogeoquímica

Las medidas de los parámetros fisicoquímicos registrados en campo, así como los resultados de laboratorio obtenidos han servido para elaborar los diagramas e interpretación de las características

hidrogeoquímicas, tanto de las aguas subterráneas como superficiales.

En el diagrama de Schoeller (Figura 1), se muestra en detalle la clasificación de los distintos tipos de agua bajo estudio en donde podemos identificar que las aguas superficiales y las aguas del interior de la mina son del tipo sulfatado-cálcica, además se observa que las aguas de la Laguna ubicado en el punto 9 son menos sulfatada diferenciándose de las demás aguas por ser más pura y podría indicarnos que no tendría interconexión con las aguas de interior de la mina.

En el diagrama de Piper que se muestra en la Figura 2, nos permite evidenciar que las aguas analizadas en el presente estudio son sulfatadas cálcicas, más cálcicas que las aguas subterráneas.

#### 3.2 Análisis isotópicos

Los análisis isotópicos por H-2 y O-18 se realizaron en el Laboratorio de Hidrología del IPEN; en tanto que, los análisis por tritio, fueron efectuados en el Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear (CDTN)-Brasil. En la Tabla 2 se presentan los valores de tritio en donde se aprecia que dichos valores no representan a un agua de reciente infiltración, sino a un agua antigua.

**Tabla 2.** Resultados del análisis isotópico de aguas.

Nº Mtra	Ubicación	Alt msnm	Cond nS/cm	Temp °C	pH	Isótopos Ambientales (‰)		Tritio (H-3) U.T.
						O-18	H-2	
						1	Pto. 1 - Galería	
2	Pto. 2 - Galería	4600	0,12	7,7	2,72	-18,42	-132,61	0,39
3	Pto. 3 - Galería	4600	0,12	8,2	3,23	-18,25	-130,15	0,60
4	Pto. 4 - Galería	4550	0,45	6,8	2,51	-18,26	-131,06	0,55
5	Pto. 5 - Galería	4550	0,35	6,6	2,29	-18,27	-131,99	0,31
6	Pto. 6 - Galería	4550	0,30	7,3	2,65	-18,10	-130,31	
7	Pto. 7 - Galería	4550	0,222	6,8	2,93	-18,37	-133,39	
8	Laguna Superficial Pto. 1	4821	0,039	13,1	5,96	-9,32	-88,53	
9	Laguna Superficial Pto. 2	4821	0,041	15,8	6,37	-9,21	-88,66	
10	Bofedal 1	4810	0,176	13,1	8,25	-3,46	-58,67	
11	Bofedal 2	4849	0,228	21	3,81	-14,58	-119,32	
12	Manantial	4830	0,24	19	4,05	-17,71	-131,75	
13	Río	4646	0,173	18,8	3,91	-17,59	-129,45	

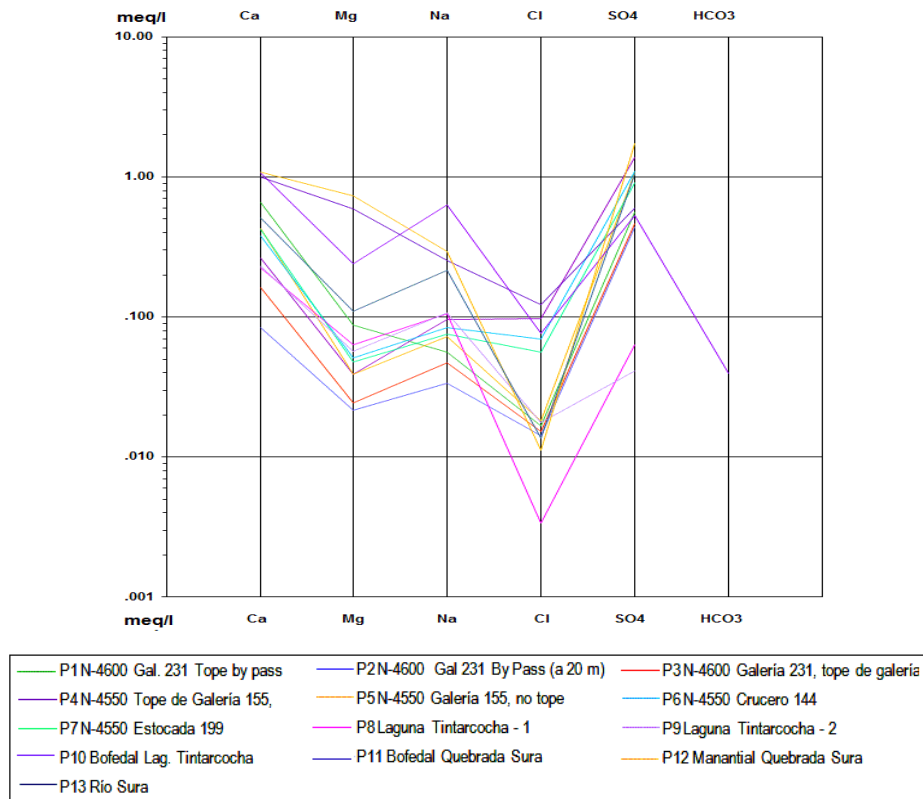


Figura 1. Diagrama de Schoeller – Unidad Minera Poracota

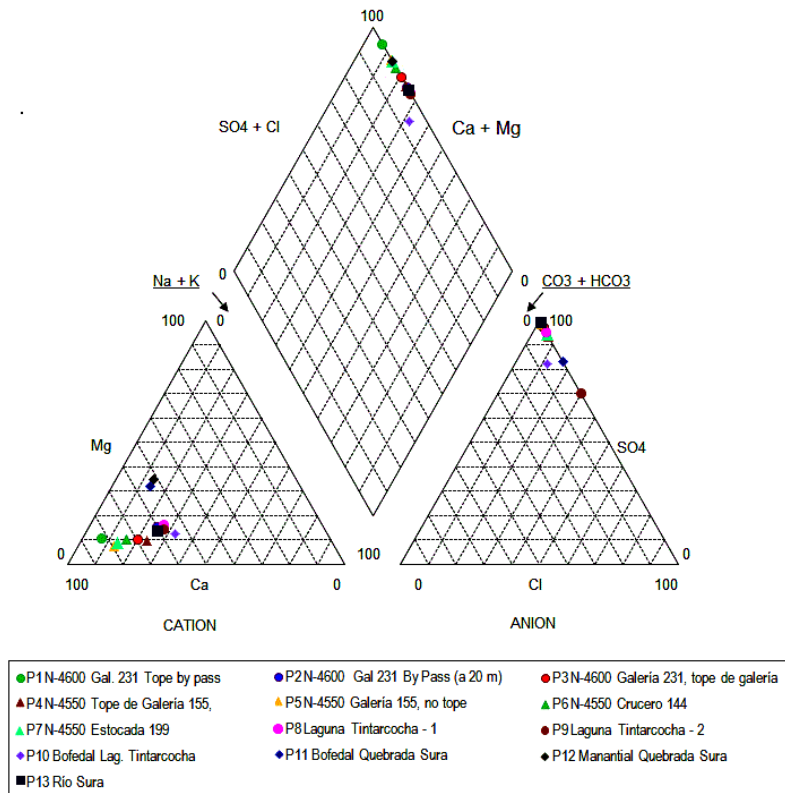


Figura 2. Diagrama Ternario de Piper de la unidad minera.

a) *Isótopos estables del agua (O-18 y H-2)*

En la Figura 3 se muestra un diagrama en donde se ha planteado en función al contenido de  $\delta^{18}O$  vs  $\delta^2H$ , en ellas también se observa graficada la Línea Meteorológica Mundial (LMM), donde los puntos de la laguna (muestras 8 y 9) y bofedales (muestras 10 y 11) están apartados de la LMM, las mismas que están afectadas por un proceso de evaporación natural permanente en un ambiente con pobre circulación; asimismo, las aguas al interior de la mina (muestras 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) son aguas de recarga natural en altura, superior a las aguas del río (muestra 13) y que no tienen interconexión con las

aguas evaporadas superficiales (muestras 8, 9, 10 y 11).

b) *Isótopos inestables del agua (H-3)*

Los valores en unidades de Tritio (U.T.) obtenidos del agua al interior de la mina en el nivel 4550 son 0.55 U.T. y 0.31 U.T.; en el nivel 4600 son 0.21, 0.39 y 0.60 U.T., estos valores nos indica que su tiempo de residencia es mayor a 25 años, habida cuenta que el tritio superficial está en el rango entre 2.5 y 3.5 U.T. [4] y que las aguas de filtración al interior de la mina son aguas almacenadas, estancadas en ojos de agua y/o que podrían provenir de altura, pero con muy baja infiltración.

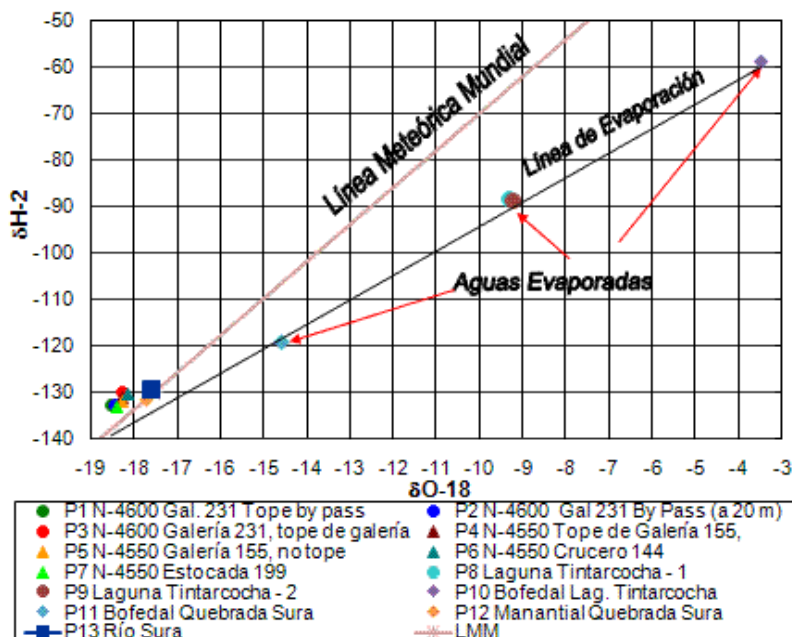


Figura 3. Diagrama O-18 y H-2 de la unidad minera.

4. Conclusiones

Los análisis isotópicos y química del agua, indican que el agua de filtraciones que discurren al interior de la mina (muestras 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) provienen de aguas estancadas en ojos de agua y/o de una cota superior al punto 11 de muy bajo tiempo de residencia.

Las aguas de bofedales (muestras 10 y 11) y de la laguna (muestras 8 y 9) son aguas afectadas por evaporación y no tienen conexión con las aguas presentes al interior de la mina.

5. Referencias

[1] Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros-MEM. Informe N° 1486-2013-MEM-M/ABR/SDC/MES/GPV, Octubre 2013.

[2] Knight Piésold Consultores SA., Proyecto Poracota, Plan de Cierre. Julio 2008.

[3] Custodio E, Llamas M. Hidrología subterránea. Tomo I, 2<sup>da</sup> Edición, Barcelona: Ed. Omega, 1983.

[4] Clark ID, Fritz P. Environmental isotopes in hydrogeology. New York: Lewis Publishers; 1997.