



## Metales pesados en las aguas provenientes de la Rampa San Marcelo, CIA de Minas Sillustani S.A.

Heavy metals in the waters coming from Rampa San Marcelo, CIA de Minas Sillustani S.A.

Metais pesados nas águas provenientes da Rampa San Marcelo, Cia de Minas Sillustani S.A.

### ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil  
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.187>

**Sofía Lourdes Benavente Fernández**  
sofiabenavente@unap.edu.pe

**Royer Daywis Huarcaya Quispe**  
royunap@gmail.com

**Heber Nehemias Chui Betancur**  
hchui@unap.edu.pe

**Katia Pérez Argollo**  
kperez@unap.edu.pe

**Edgar Octavio Roque Huanca**  
eroque@unap.edu.pe

**Nardy Guillen Sosa**  
nguillensosa@gmail.com

Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

Artículo recibido el 7 de agosto 2022 / Arbitrado el 18 de noviembre 2022 / Publicado el 15 de diciembre 2022

### RESUMEN

La actividad minera en Perú, representa el 10% del Producto Bruto, sin embargo, esta actividad genera residuos e incrementan los niveles de contaminantes. Por ello el propósito de este estudio fue identificar los niveles de concentración de metales pesados en las aguas de la Rampa San Marcelo CIA de Minas Sillustani S.A., seguidamente comparar con los estándares de calidad ambiental y los límites máximo permisibles vigentes en el estado peruano. La investigación fue de tipo descriptivo no experimental. Se determinaron los parámetros físico-químicos con un multiparámetro y la concentración de elementos químicos por medio de la técnica espectroscópica de plasma inducido. Los resultados evidencian que la concentración de metales pesados analizados (As, Cd, Cu, Hg, Se y Zn), presentes en los tres puntos de muestreo, se encuentran por encima de los límites máximo permisibles establecidos por el D.S 004-2017- MINAM, por lo tanto, podemos afirmar que el recurso hídrico de la Rampa San Marcelo se encuentra contaminado con los mencionados metales pesados y que es sumamente nocivo para la salud de los seres vivos.

**Palabras clave:** Concentración; Lixiviado; Metales pesados; Muestreo; Toxicidad

### ABSTRACT

Mining activity in Peru represents 10% of the Gross Product, however, this activity generates waste and increases the levels of contaminants. Therefore, the purpose of this study was to identify the concentration levels of heavy metals in the waters of the San Marcelo Ramp CIA de Minas Sillustani S.A., then compare with the environmental quality standards and the maximum permissible limits in force in the Peruvian state. The research was descriptive and non-experimental. The physical-chemical parameters were determined with a multiparameter and the concentration of chemical elements by means of the induced plasma spectroscopic technique. The results show that the concentration of heavy metals analyzed (As, Cd, Cu, Hg, Se and Zn), present in the three sampling points, are above the maximum permissible limits established by D.S 004-2017- MINAM, therefore, we can affirm that the water resource of the San Marcelo Ramp is contaminated with the mentioned heavy metals and that it is extremely harmful to the health of living beings.

**Key words:** Concentration; Leachate; Heavy metals; Sampling; Toxicity

### RESUMO

A atividade de mineração no Peru representa 10% do Produto Interno Bruto, entretanto, esta atividade gera resíduos e aumenta os níveis de poluentes. Portanto, o objetivo deste estudo foi identificar os níveis de concentração de metais pesados nas águas da Rampa San Marcelo CIA de Minas Sillustani S.A., depois comparar com os padrões de qualidade ambiental e os limites máximo permitidos em vigor no estado peruano. A pesquisa foi descritiva e não-experimental. Os parâmetros físico-químicos foram determinados com um multiparâmetro e a concentração de elementos químicos por meio da técnica espectroscópica de plasma induzido. Os resultados mostram que a concentração de metais pesados analisados (As, Cd, Cu, Hg, Se e Zn), presentes nos três pontos de amostragem, estão acima dos limites máximo permitidos estabelecidos pelo D.S 004-2017- MINAM, portanto, podemos afirmar que o recurso hídrico da Rampa de San Marcelo está contaminado com os metais pesados acima mencionados e que é extremamente prejudicial à saúde dos seres vivos.

**Palavras-chave:** Concentração; Lixiviado; Metais pesados; Amostragem; Toxicidade

## INTRODUCCIÓN

La actividad minera en Perú, aporta el 10% del Producto Bruto Interno y representa el 16% del aporte privado en la inversión nacional, esta actividad dinamiza la inversión de manera descentralizada creando impacto económico en varias regiones del país, sin embargo, esta actividad genera residuos que cada vez más se van acumulando mayores niveles de contaminación cuyas consecuencias sobre la salud son devastadoras principalmente en la salud de las personas (1), esto trae como consecuencias económicas como en la compra de medicamentos para atenuar las graves consecuencias en la salud de las personas, originando pérdidas en las empresas de saneamiento; a la vez, origina conflictos sociales, restringe su uso para riego (2).

La contaminación por metales pesados como: Pb, Cd, Cu y Hg, pueden causar problemas de toxicidad en recursos hídricos, suelos y aire (1), que constituye una problemática global que influyen de manera negativa en la seguridad alimentaria de las personas, animales y plantas cuyas consecuencias en la salud pública que afecta a el globo terrestre y local (3); la presencia de estos metales pesados, afectan a la calidad de vida y salubridad dado a su elevado grado de toxicidad dañinos para los seres vivos, un claro ejemplo de alimentos contaminados es el caso de la región de Junín, donde se reportó la presencia de arsénico, cadmio,

cobre, mercurio, molibdeno, níquel, plomo y zinc con concentraciones de: 0.043mg/kg, 0.036mg/kg, 0.114mg/kg, <0.001mg/kg, 0.0075mg/kg, 0.0145mg/kg, 0.0565mg/kg y 1.138mg/kg, respectivamente, las cuales son alarmantes (4). Por otro lado, existen reportes sobre la contaminación ambiental como es el caso principalmente del agua que son afectados por la actividad minera de la Rinconada, vertiendo principalmente relaves y desechos mineros que contiene metales pesados de alta toxicidad como es el caso del mercurio ya que la MINA La Rinconada está relacionada con la explotación de oro, también se reportó que en las nacientes del nevado Ananea la presencia de concentraciones de mercurio ( $0.00034 \pm 0.000032$  mg/L), superan los niveles máximos permitidos por los estándares de Calidad ambiental (5).

En Perú, es uno de los 10 países con mayor cantidad de agua en el planeta, existen alrededor de 1 768 512 Hm<sup>3</sup> de agua en promedio, del cual el 97.2 % del total podemos encontrarlos en la vertiente del Amazonas; en el altiplano existe el 5% de este recurso, en el lago más alto del mundo (Titicaca) y el 1.8 % se encuentra en la vertiente del Pacífico (2). Sin embargo, este preciado recurso hídrico se encuentra amenazada por la contaminación por metales pesados que proviene de la minería a pequeña, mediana y gran escala, que en muchos casos son informales y artesanales, investigaciones recientes reportaron la existencia elevada de metales como el: Cd,

Ni, Pb, Fe y Zn, que exceden ampliamente los estándares de calidad ambiental (6). Por ello el propósito de este estudio fue identificar los niveles de concentración de metales pesados en las aguas de la Rampa San Marcelo CIA de Minas Sillustani S.A., seguidamente comparar con los estándares de calidad ambiental y los límites máximo permisibles vigentes en el estado peruano (7).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se ejecutó en la Unidad Minera Regina del proyecto minero CIA de minas Sillustani S.A. Ubicados geográficamente en los distritos de Quilcapuncu y Ananea, de la provincia de San Antonio de Putina, Puno (Tabla 1). El tipo de investigación empleado en este estudio fue descriptivo comparativo.

**Tabla 1.** Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Coordenadas	
	Este	Norte
RSM-01	426673	8373278
RSM-02	426989	8373133
PET-01	427322	8373021

La muestra de investigación fue seleccionada empleando la técnica del muestreo aleatorio simple, en el que se recolectó las muestras en los puntos detallados en la Tabla 1. Las muestras se guardaron en frascos de vidrio de 500 ml, se recolectaron dos muestras del efluente proveniente de la rampa San Marcelo y una de la planta de tratamiento que está ubicada en la laguna Choquene. Para la preservación de las muestras se utilizó Ácido Nítrico de 69-70%.

Se determinaron las concentraciones de los metales pesados como: Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio Selenio Zinc, Cobalto y Molibdeno por medio del análisis de la Espectrometría de Masa con Plasma

Acoplado Inductivamente (ICP-MS), de la Universidad Nacional del Altiplano. El periodo de investigación fue realizado durante el mes de Julio del año 2018. También, se determinaron los parámetros químicos y físicos como: Potencial de Hidrogeno; Conductividad Eléctrica; Turbidez; Oxígeno Disuelto; Temperatura; Profundidad; Salinidad; Solidos Totales Disueltos; Potencial Oxido Reducción, a través de un multiparámetro de calidad de agua (Horiba, Enviroequip S.A.C.), GPS marca Garmin.

## RESULTADOS

Los valores físico-químicos que se muestran en la Tabla 2, de la rampa San

Marcelo, presentan un nivel de pH ácido lo cual no se recomienda para el consumo humano, tampoco para los animales. Lo recomendable sobre el nivel de pH es que debe de ser de 6.5 a 8.5 para las aguas superficiales y subterráneas.

**Tabla 2.** Propiedades Físico-Químicos.

Parámetros F-Q	Medida	Unidad
Potencial de Hidrogeno	4.85	pH
Conductividad Eléctrica	0.999	S/m
Turbidez	0	JTU
Oxígeno Disuelto	12.08	Ppm
Temperatura	19.8	°C
Profundidad	0	M
Salinidad	1.15	Ppm
Solidos Totales Disueltos	12.1	Ppm
Potencial Oxido Reducción	231	mV

En la Tabla 3, se presentan las concentraciones de los elementos pesados como: arsénico, cadmio, cobre, mercurio, selenio y zinc que fueron calculados por medio del análisis de ICP (Inductively Coupled Plasma).

**Tabla 3.** Metales pesados presente en la muestra.

Metales Pesados	Unidad	RSM-1	RSM-2	PET-1	Límite Máximo Permissible DS N° 04-2017-MINAM
Antimonio	mg/L	nd	nd	nd	0.64
Arsénico	mg/L	45.4086	10.4853	5.49157	0.15
Bario	mg/L	nd	nd	nd	0.7
Cadmio Disuelto	Mg/L	0.245066	-0.303957	0.0371122	0.00025
Cobre	mg/L	19.7396	12.02167	12.35874	0.1
Cromo	mg/L	nd	nd	nd	0.011
Mercurio	mg/L	5.98172	1.02591	0.360694	0.0001
Níquel	mg/L	nd	nd	nd	0.052
Plomo	mg/L	nd	nd	nd	0.0025
Selenio	mg/L	0.865567	1.81761	2.1546	0.005
Talio	mg/L	nd	nd	nd	0.0008
Zinc	mg/L	133.189	25.85438	18.334	0.12

En el punto RSM-1, la concentración del Arsénico fue de 45.4086 mg/L, siendo este valor, un valor muy alto respecto del Límite Máximo Permisible de 0.15 mg/L establecido por el MINAM (7). También notamos que, a pesar de que funciona una la planta de tratamiento los efluentes salientes (PET-1) que supone reducir las concentraciones de este metal, esta presenta una concentración de 5.49157 ml/L, el cual es alto para el Límite Máximo Permisible - LMP establecidos en los ECA (Tabla 3).

En el punto RSM-1, la concentración del Cd disuelto fue de 0.245066 mg/L, siendo este valor, muy alto respecto del Límite Máximo Permisible, señalado por el Minam (7), que establece una concentración equivalente a 0.00025 mg/L (Tabla 3). Se pudo observar también que la concentración del efluente de la planta de tratamiento (PET-1) tuvo una concentración de 0.0371122 ml/L el cual continúa siendo un valor muy alto en referencia a los Límites Máximos Permisibles señalados por el Minam (7).

En el punto RSM-1, la concentración del Cu fue de 19.7336 mg/L, siendo este valor muy alto respecto del Límite Máximo Permisible, señalado por el Minam (0.00025 mg/L) (7), a pesar de que va disminuyendo a lo largo del trayecto con una concentración a 12.02167 ml/L. Se pudo apreciar también que la concentración (12.35874 ml/L), del efluente de la planta de tratamiento (PET-1) presenta una concentración de aumentando en un pequeño porcentaje el cual sobrepasa los LMP establecidos por el Minam, (7).

En el punto RSM-1, la concentración del Mercurio, fue de 5.98172 mg/L, siendo un valor alto a comparación del Límite Máximo Permisible (0.0001 mg/L), señalado por el MINAM-2017. Además, debemos notar que la concentración en el trayecto (RSM-2) fue de 1.02591 ml/L que sigue siendo alto respecto del Límite Máximo Permisible. Finalmente, se puede apreciar también que la concentración del efluente PET-1 de la planta de tratamiento presenta una concentración de 0.360694 ml/L, los valores encontrados están por encima del Límite Máximo Permisible establecidos por el MINAM (7).

En el punto RSM-1, la concentración del selenio fue de 0.865567 mg/L, siendo un valor alto con respecto de la concentración de 0.005 mg/L establecido como un nivel del LMP establecido por el MINAM (7). La concentración en el trayecto (RSM-2) fue de 1.81761 ml/L. Se pudo apreciar también que la concentración del efluente (PET-1) de la planta de tratamiento fue de 2.1546 ml/L, al igual que los demás gráficos, los valores están muy por encima del Límite Máximo Permisible, señalados por el MINAM (7).

La concentración del Zinc, en el punto RSM-1 tuvo una concentración de 133.189 7 mg/L, el cual es un valor muy alto a comparación del LMP establecido por el MINAM-2017 que es de 0.12 mg/L, el cual va disminuyendo en el trayecto (RSM-2) con una concentración de 25.85438 ml/L. Al igual que en los gráficos anteriores el nivel de concentración del efluente (PET-1) de la planta de tratamiento presenta un valor de 18.334

ml/L, de igual manera los valores están muy por encima del Límite Máximo Permissible, señalados por el MINAM (7).

### DISCUSIÓN

En este estudio se evaluaron las concentraciones de Cadmio, Arsénico, Cobre, Selenio, Mercurio, y Zinc. Los daños ocasionados por la excesiva concentración de arsénico en el agua causan el cáncer a la piel y cáncer al pulmón. Entre las tecnologías que permiten remediar el arsénico se recomienda la técnica de la coagulación-precipitación o la oxidación, la absorción, el intercambio de iones y diversas técnicas de membranas (1,8-10). Los daños causados por la concentración de cadmio por encima de los límites máximos permitidos, sobre la salud son: diarreas, dolor de estómago y vómitos severos (11-13). La concentración excesiva de cobre presente en los recursos hídricos causa efectos adversos sobre la salud como: la irritación de los ojos, la nariz, la boca, y dolores de cabeza y si son en cantidades muy altas pueden causar daños a los riñones, al hígado e incluso causar la muerte (14-16).

El Mercurio es un elemento pesado cuyas consecuencias graves para la salud son principalmente al sistema inmunitario, al sistema nervioso, al aparato digestivo, a los riñones y finalmente a los pulmones. Para poder mitigar y disminuir el uso de mercurio en las minerías artesanales y pequeña minería se pueden implementar las retortas y reactivadores de mercurio (5-6,17). El selenio

en cantidades pequeñas es necesario para el organismo para mantener la buena salud sin embargo en dosis elevadas que superan los límites máximos permitidos, pueden producir náuseas, vómitos y diarreas (2,10,18-19). La concentración de Zinc presente en el agua en cantidades elevadas produce graves afectaciones a la salud, así como: la irritación de la piel, úlceras, vómitos, náuseas y también está asociada a la anemia (17,20).

### CONCLUSIONES

Los efluentes de la Rampa San Marcelo -RSM presentan valores muy altos, con respecto a los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S N°004-2017-MINAM, en las concentraciones de As, Cd, Cu, Hg, Se y Zn, en los tres puntos de muestreo. Estos metales presentes en el agua pueden causar graves afecciones a la salud.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguirre S, Piraneque N, Linero J. Heavy metals concentration and physical-chemical water quality of the Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgación Científica*, 2021; 24(1), 1–10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1313>
2. Sánchez DV. Calidad del agua. *Boletín Científico de La Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 2017; 4(7), 1–42. <https://doi.org/10.29057/esat.v4i7.2202>
3. Bose SK, Chakraborty UC. Resolutions Adopted at the General Session of the VIII All India Pediatric Conference at Vellore on the 21st December, 1956. *The Indian Journal of Pediatrics*, 1957; 24(1), 14. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>



- 4.** Borda BE, Lahura NE. Negra "Solanum Tuberosum" proveniente de la provincia de Tarma, Junín, Perú Impact of heavy metals on the quality of the black potato "Solanum Tuberosum" coming from the province of Tarma, Junin, Peru. 2021; 1–10. <https://revistas.unfv.edu.pe/RCV/article/view/1046/1086>
- 5.** Loza AL, Ccancapa Y. Mercury in a high altitude andes stream with strong impact by artisanal aurifer mining (La rinconada, puno, Peru). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 2020; 36(1), 33–44. <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53317>
- 6.** Brousett MA, Rondan GG, Chirinos M, Biamont I. Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno - Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, (2021). 21(21), 187–208. [http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v21n21/v21n21\\_a11.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v21n21/v21n21_a11.pdf)
- 7.** Ministerio Del Ambiente. Aprueban Estándares De Calidad Ambiental Para Agua Y Establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, MINAM, Lima. 2017: 1-10. <https://n9.cl/cs4to>
- 8.** Campos CN. La Contaminación Por Metales Pesados En La Ciénaga Grande De Santa Marta, Caribe Colombiano. *Instituto de Ciencias Naturales* 1990; 16. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/35544/36002>
- 9.** Salas UF. Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad aurífera, Puno-Perú 2014. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7616620>
- 10.** Salas UF. Estudio de los niveles de contaminación por metales pesados en la zona de Ananea de la cuenca del río Ramis. *Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola* 2010; 1-12. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3273951>
- 11.** Choque E, Carrasco A. Implicancias Ambientales Por La Actividad Minera de la zona de Ananea en la cuenca del río Ramis. *Boletín N°5* 2008; 1-22 <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/352#files>
- 12.** Contreras PJ, Mendoza GA. Determinación de Metales Pesados en Aguas y Sedimentos del Río Haina. *Ciencia y Sociedad*, 2004; 29(1), 3871. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87029103.pdf>
- 13.** Graza EF, Quispe PR. Determinación De Pb, Cd, As en aguas del río santa en el pasivo minero ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay – Ancash. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. 2015; 1-32 <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4205>
- 14.** Machaca E. Determinación de Metales Pesados En La Laguna Choquene Quilcapuncu - Putina - Puno. *Revista Investigación Altoandina*, 2013; 15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8054512>
- 15.** Romero LK. Contaminación Por Metales Pesados. *Científica Ciencia Médica SC* 2009; 12(1). <https://www.redalyc.org/pdf/4260/426041218013.pdf>
- 16.** Romero A, Flores S. Estudio de los Metales Pesados en el Relave Abandonado de Ticapampa. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 2008, 11(22), 13-16. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/RFIGMMG-22-1.pdf>
- 17.** Gonzáles J. Nivel De Concentración de metales pesados (Pb, Cu, Hg, As Y Fe) en el río toro, distrito de Huamachuco de la provincia de Sanchez Carrion durante Año 2009 – 2010. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. 2012; 1-121. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5812>
- 18.** Natalia E, McLaughlin M, Pennock D. La contaminación del suelo: una realidad oculta. In *Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura FAO*. 2019 <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

**19.** López C. Metodología para la descontaminación de Aguas Procedentes de Lavaderos de Instalaciones Mineras. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena 2012. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/3882?locale-attribute=es>

**20.** Loayza G, Galloso L. Implicancias Ambientales Por La Actividad Minera De La Zona De Ananea En La Cuenca Del Rio Ramis.

Boletín N°5, Intitución Geocientífica al Servicio Del País, Lima, Lima 2008. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/352>

**Conflicto de Intereses.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.