



## Caracterización físico química del agua superficial en dos sectores del río Ramis

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil o revisa este artículo en:  
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.279>

Physical-chemical characterization of surface water in two sectors of the Ramis River

Caracterização físico-química de águas superficiais em dois setores do Rio Ramis

Esther Lidia Jinés García   
estherli0719@gmail.com

Edgar Octavio Roque Huanca   
eroque@unap.edu.pe

Maribel Mamani Roque   
mariroque725@gmail.com

Samuel Álvaro Chura Cahuana   
schurac@unap.edu.pe

Roberto Anacleto Aguilar Velasquez   
robeaguivelas2@gmail.com

Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

Artículo recibido 18 de marzo 2024 / Arbitrado 16 de abril 2024 / Publicado 2 de mayo 2024

### RESUMEN

En la actualidad, el rápido desarrollo genera contaminantes que dañan gravemente el ecosistema fluvial. Esta investigación tuvo como **objetivo** determinar las características físico-químicas de las aguas superficiales en dos sectores del río Ramis en Perú durante la estación de estiaje. Se emplearon diversas técnicas, incluyendo ICP-OES para medir las concentraciones de Cu, Pb, Cr y Hg, así como un equipo multiparámetro para medir parámetros físicos como temperatura, conductividad eléctrica, nivel de pH, turbidez, sólidos disueltos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno. Los **resultados** revelaron que la concentración de Cu (0.0356 mg/l), excedió los límites permisibles establecidos por la normativa peruana; las concentraciones de Pb (0.0001 mg/l), Cr (0.0064 mg/l) y Hg (0.0004 mg/l) se mantuvieron por debajo de los límites permitidos para dichas aguas. La contaminación del río Ramis es un problema multifacético que requiere una acción urgente y coordinada por parte de las autoridades gubernamentales, las empresas mineras y las comunidades locales para mitigar sus impactos y restaurar la salud del ecosistema fluvial.

**Palabras clave:** Aguas superficiales; Caracterización físico-química; Contaminación; Metales pesados; Río Ramis

### ABSTRACT

Currently, rapid development generates pollutants that seriously damage the river ecosystem. This research **aimed** to determine the physical-chemical characteristics of surface waters in two sectors of the Ramis River in Peru during the dry season. Various techniques were used, including ICP-OES to measure the concentrations of Cu, Pb, Cr and Hg, as well as a multiparameter device to measure physical parameters such as temperature, electrical conductivity, pH level, turbidity, total dissolved solids, biochemical demand and oxygen chemistry. The **results** revealed that the concentration of Cu (0.0356 mg/l) exceeded the permissible limits established by Peruvian regulations; The concentrations of Pb (0.0001 mg/l), Cr (0.0064 mg/l) and Hg (0.0004 mg/l) remained below the limits allowed for these waters. Pollution of the Ramis River is a multifaceted problem that requires urgent and coordinated action by government authorities, mining companies and local communities to mitigate its impacts and restore the health of the river ecosystem.

**Key words:** Surface waters; Physical-chemical characterization; Pollution; Heavy metals; Ramis River

### RESUMO

Atualmente, o rápido desenvolvimento gera poluentes que prejudicam gravemente o ecossistema fluvial. Esta pesquisa teve como **objetivo** determinar as características físico-químicas das águas superficiais em dois setores do rio Ramis, no Peru, durante a estação seca. Foram utilizadas diversas técnicas, incluindo ICP-OES para medir as concentrações de Cu, Pb, Cr e Hg, além de um dispositivo multiparâmetro para medir parâmetros físicos como temperatura, condutividade elétrica, nível de pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, demanda bioquímica e química do oxigênio. Os **resultados** revelaram que a concentração de Cu (0,0356 mg/l) excedeu os limites permitidos estabelecidos pela regulamentação peruana; as concentrações de Pb (0,0001 mg/l), Cr (0,0064 mg/l) e Hg (0,0004 mg/l) permaneceram abaixo dos limites permitidos para estas águas. A poluição do Rio Ramis é um problema multifacetado que requer uma ação urgente e coordenada por parte das autoridades governamentais, empresas mineiras e comunidades locais para mitigar os seus impactos e restaurar a saúde do ecossistema fluvial.

**Palavras-chave:** Águas superficiais; Caracterização físico-química; Poluição; Metais pesados; Rio Ramis

## INTRODUCCIÓN

El agua de los ríos es un recurso vital para la supervivencia de los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como para el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico (1,2). Su importancia radica en su papel fundamental en la regulación del clima regional, la provisión de agua potable, la irrigación agrícola, la generación de energía hidroeléctrica y la biodiversidad (3). Además, los ríos actúan como corredores biológicos, facilitando el transporte de nutrientes, sedimentos y organismos, contribuyendo así a la salud de los ecosistemas acuáticos y la fertilidad de las tierras adyacentes (4). Sin embargo, el crecimiento demográfico y las actividades humanas cada vez más intensivas representan una amenaza para la calidad y disponibilidad del agua de los ríos, subrayando la necesidad de una gestión sostenible y una conservación efectiva de estos recursos hídricos cruciales (5).

La contaminación de los ríos debido a la actividad minera es un fenómeno complejo y preocupante, resultado de una combinación de factores físicos, químicos y biológicos (6). En ese sentido las operaciones mineras, especialmente aquellas que involucran la extracción de metales como el oro, la plata y el cobre, generan una serie de impactos ambientales adversos (7). La lixiviación de metales pesados y sustancias químicas tóxicas desde los depósitos de desechos mineros y los relaves hacia los cuerpos de agua cercanos es una de las principales causas de contaminación (8,9). Además, el lavado de

minerales y la actividad de trituración pueden liberar sedimentos y productos químicos en los ríos, alterando su composición química y física (10). Este tipo de contaminación no solo afecta la calidad del agua, sino que también puede tener consecuencias devastadoras para la vida acuática y la salud humana, destacando la necesidad de una regulación ambiental más estricta y prácticas mineras más sostenibles (11,12).

Asimismo, la presencia de metales pesados en los ríos puede tener graves consecuencias tanto para los ecosistemas acuáticos como para la salud humana (13). Estos contaminantes, que provienen de diversas fuentes como la industria, la minería y la agricultura, pueden acumularse en sedimentos y organismos acuáticos, alterando los ciclos biogeoquímicos y afectando la biodiversidad (14,15). Además, la ingestión o exposición a estos metales puede causar enfermedades graves en los seres humanos, como trastornos neurológicos, daños en el hígado y los riñones, y problemas en el sistema cardiovascular (16).

Ubicado en la zona de influencia minera del sur de Perú, el río Ramis enfrenta una serie de desafíos derivados de las actividades extractivas, principalmente la minería informal e ilegal, siendo la contaminación un problema ambiental de gran magnitud que afecta tanto a las comunidades locales como a los ecosistemas acuáticos de la región. Las operaciones mineras en esta área liberan una variedad de sustancias tóxicas, incluyendo metales pesados como el mercurio y el plomo, así como productos químicos utilizados

en los procesos de extracción (17). Estas sustancias contaminantes se filtran en el río a través de los desechos mineros y los relaves, afectando la calidad del agua y comprometiendo la salud de los ecosistemas acuáticos y las poblaciones que dependen de él para el consumo de agua y actividades económicas como la pesca y la agricultura (18).

Siendo la contaminación del río Ramis, un problema multifacético que requiere una acción urgente y coordinada por parte de las autoridades gubernamentales, las empresas mineras y las comunidades locales, para mitigar sus impactos y restaurar la salud del ecosistema fluvial, la investigación tuvo como objetivo, determinar las características físico-químicas de las aguas

superficiales de dos sectores del río Ramis en Perú durante la estación de estiaje.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El río Ramis es un importante curso de agua que se encuentra en el sur del Perú, en la región de Puno. Se recolectaron cuatro muestras de agua superficial del río Ramis situado en dos sectores los cuales son: Samán (M1 y M2) y Tuni grande (M2 y M3) durante el mes de mayo de 2021, fecha que corresponde a la estación de estiaje. Tabla 1.

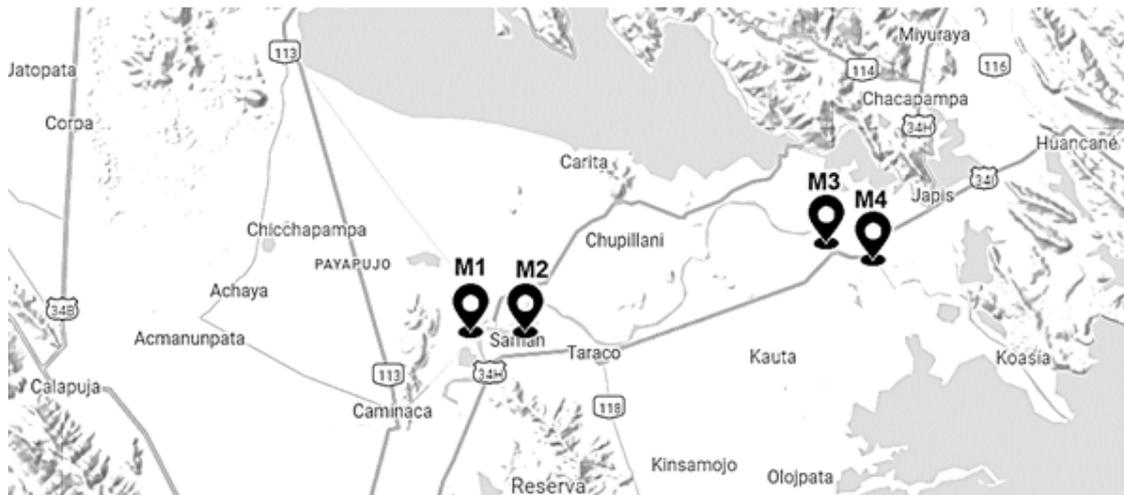
Los criterios para la selección de los puntos de muestreos fueron la proximidad a los asentamientos poblacionales y el uso de las aguas superficiales en la agricultura y ganadería.

**Tabla 1.** Localización geográfica de la toma de muestra.

Muestra	Sector	Coordenadas geográficas
M 1	Samán	-15.288973278258702, -70.02894310778638
M 2	Samán	-15.290115549376662, -70.02321347605225
M3	Tuni grande	-15.25596932308159, -69.86896432342307
M4	Tuni grande	-15.256805533004611, -69.86315968405165

Las muestras fueron recolectadas de los sectores Samán y Tuni grande en botellas de polietilenoa fin de trasladarlo, siguiendo los

procedimientos de la cadena de custodia hasta los Laboratorios Analíticos del Sur situado en la ciudad de Arequipa, Perú Figura 1.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

Las concentraciones de Cu; Pb; Cr y Hg, en mg/l, se midieron mediante el método de ICP-OES (plasma acoplado inductivamente - espectrometría de emisión óptica) en los Laboratorios Analíticos del Sur, certificados según normas internacionales tales como OSHAS 18000, SA 8000, ISO 14000 e ISO/IEC 17025 también, se encuentra certificado por el instituto nacional de calidad-INACAL de Perú. Esta técnica implica el análisis de la composición de elementos presentes principalmente en muestras disueltas en agua.

En cada sitio de muestreo, se llevaron a cabo mediciones de parámetros ambientales, en este

estudio se utilizó un equipo multiparámetro Hanna Instruments HI98194 con la finalidad de registrar parámetros físicos como: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), nivel de pH, turbidez (medida en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez), sólidos disueltos totales TDS (mg/l) DBO (mg) y DQO (mg/l).

## RESULTADOS

En la Tabla 2, se muestran los parámetros físico- químicos detectados en los puntos de muestreos realizados a las aguas superficiales del río Ramis.

**Tabla 2.** Parámetros físico químicos de las aguas superficiales del río Ramis.

Muestra	Temp $^{\circ}\text{C}$	pH	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (mg/l)	Turbidez (UNT)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
M 1	12.2	8.1	909	424	3.7	17.6	22
M 2	10.8	8.2	865	412	3.6	16.4	24
M3	8.9	8.0	733	367	3.6	13.6	17
M4	11.6	8.2	743	398	3.7	14-8	21

Se registró una temperatura mínima de 8.9 °C y una máxima de 12.2 °C, correspondiendo a los puntos M3 y M1 respectivamente. En el punto M1 la conductividad eléctrica es de 909  $\mu\text{s}/\text{cm}$  mayor que en todas las demás muestras. Las partículas insolubles responsables de esta turbidez pueden ser aportadas tanto por procesos de arrastre como de remoción de tierra presente en el río, este parámetro alcanza un valor de 3.7 mg/l en promedio. La demanda

bioquímica de oxígeno (DBO) tuvo un valor mínimo 13.6mg/l en el punto de muestreo M3 y un valor máximo en el punto de muestreo M1. La demanda química de oxígeno (DQO) tuvo un valor mínimo en el punto de muestreo M3 de 17 mg/l y un valor máximo de 24 mg/l.

Los resultados de la medición de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Ramis se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Concentración de metales pesados de las aguas superficiales del río Ramis.

Muestra	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Hg (mg/l)
M 1	0.0258	0.0001	0.0064	0.0004
M 2	0.0232	0.0001	0.0045	0.0002
M3	0.0356	0.0001	0.0012	0.0003
M4	0.0332	0.0001	0.0043	0.0001

Se observa que la concentración de Cu (0.0232 mg/l) es más bajo en el punto de muestreo M2, mientras que es más alto (0.0356 mg/l) en el punto de muestreo M3. La concentración de Pb es igual a todos los puntos de muestreo. La concentración de Cr tuvo un valor mínimo (0.0012mg/l) en el punto de muestreo M3, mientras que, tuvo un mayor valor (0.0064 mg/l) en el punto de muestreo M1. Finalmente, la concentración de mercurio (Hg) fue la más baja (0.0001 mg/l) en el punto de muestreo M4 y la más alta (0.0004 mg/l) en el punto de muestreo M1.

## DISCUSIÓN

La mayor conductividad eléctrica registrada entre todas las muestras analizadas en este estudio fue de 909  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Sin embargo, este valor se encuentra por debajo del mínimo permisible de 1500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , establecido por la normativa peruana para las aguas que pueden ser potabilizadas mediante desinfección en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (19). Aunque la alta conductividad eléctrica del agua en sí misma no representa un riesgo directo para la salud, Benavente et al. (15) y Barriga (20), consideran que puede ser un indicador de otros

problemas que podrían tener impactos negativos en la calidad del agua y en la salud a largo plazo.

Los parámetros de DBO y DQO alcanzaron concentraciones máximas de 17.6 mg/l y 24 mg/l, respectivamente. No obstante, es importante señalar que estos valores exceden los límites permisibles establecidos por la normativa peruana para aguas potabilizables mediante tratamiento convencional, fijados en 5 mg/l y 20 mg/l, respectivamente (19). Los altos niveles de DBO y DQO en un cuerpo de agua son indicadores significativos de la carga orgánica y la cantidad de compuestos químicos oxidables presentes en dicho medio, como afirma Guillama et al. (14). Para Ramos (21), estos parámetros son críticos para evaluar la calidad del agua y su capacidad para soportar vida acuática, ya que, la alta DBO sugiere una mayor cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua, lo que puede resultar en la reducción del oxígeno disuelto en el medio acuático durante el proceso de descomposición bacteriana, llevando a condiciones de hipoxia o anoxia que pueden ser letales para la vida acuática. Por otro lado, Salinas (15), considera que la DQO indica la cantidad total de compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden ser oxidados químicamente en el agua, lo que puede contribuir a la eutrofización y la proliferación de algas, alterando así el equilibrio ecológico del ecosistema acuático.

Los valores de la concentración de Cu (0.0356mg/l), excedieron los límites permisibles establecidos por la normativa peruana para aguas

usadas en la extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras (0.0031 mg/l) (19). Mientras que las concentraciones para los metales como Pb (0.0001mg/l), Cr (0.0064mg/l) y Hg (0.0004mg/l) no superaron los límites permisibles para aguas usadas en la extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras establecidos en la normativa peruana.

Los altos niveles de cobre en aguas de río pueden desencadenar una serie de consecuencias ambientales y de salud preocupantes, de acuerdo con Loza del Carpio (18) y Vilela et al., (12), ya que, en primer lugar, la toxicidad del cobre para la vida acuática puede afectar la diversidad y la salud de los ecosistemas fluviales, causando la muerte de peces, invertebrados y otros organismos acuáticos. Además, según Sánchez (22), el cobre puede bioacumularse en los tejidos de los organismos, lo que puede provocar efectos adversos en los animales que se alimentan de ellos, incluidos los humanos. Desde el punto de vista humano, se concuerda con Cabezas (22) y Velázquez et al., (23), al plantear que el consumo de agua contaminada con altos niveles de cobre puede plantear riesgos para la salud, como problemas gastrointestinales, daños en el hígado y los riñones, e incluso efectos neurológicos en casos extremos.

## CONCLUSIONES

Es notable que en el punto de muestreo M1, se registre una conductividad eléctrica

notablemente más alta que en otros puntos de muestreo, lo que sugiere una posible influencia de fuentes de contaminación o características geológicas locales. Además, la presencia de partículas insolubles responsables de la turbidez, con un promedio de 3.7 mg/l, indica una carga de sedimentos que puede ser atribuida a la erosión del suelo y otras actividades humanas. Los valores contrastantes de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) entre los puntos de muestreo resaltan la variabilidad en la carga orgánica y la capacidad de oxidación química del agua en diferentes áreas del río Ramis.

El análisis detallado de los resultados presentados en este estudio revela patrones interesantes en la distribución de metales pesados en las aguas superficiales del área de estudio. Se observa una variación significativa en las concentraciones de cobre (Cu), plomo (Pb), cromo (Cr) y mercurio (Hg) entre los diferentes puntos de muestreo. Es particularmente destacable que la concentración de cobre sea más baja en el punto M2 y más alta en el punto M3, lo que sugiere la influencia localizada de fuentes de contaminación o procesos geológicos en la movilización de este metal en el ecosistema acuático. Por otro lado, la uniformidad en las concentraciones de plomo en todos los puntos de muestreo indica una distribución más homogénea de este metal en el área estudiada.

La variabilidad en las concentraciones de cromo y mercurio, con valores mínimos y máximos en diferentes puntos de muestreo, evidencia la complejidad de los procesos de movilización y transporte de estos metales en el agua.

**CONFLICTO DE INTERESES.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ticona-Arapa H, Millones-Chafloque A, Zela-Payá N, Chambi-Condori N, Sucari-León A. Reforestación, una percepción sobre la preservación del ambiente en la zona alta circunlacustre de Puno. 2024;8(22):191-207. <https://goo.su/wE4H>
2. Lozano J, Bran D, Ramirez S, Restelli F, Bunicontro S, Esteban F, et al. A geophysical assessment of the Termas de Río Valdez geothermal area (Tierra del Fuego, Argentina). 2024; 119:102963. <https://goo.su/tK6oe>
3. Márquez O, Ortega M. Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz. Revista mexicana de opinión pública. 2017;12(23):41-59. <https://goo.su/S3iED>
4. Sanguino D, Poma H, Rajal V, Juárez M, Irazusta V. Parásitos humanos en aguas superficiales de uso recreativo en Salta, Argentina. Revista Argentina de Microbiología. 2023:10. <https://goo.su/j3cJC4k>
5. Esqueda K, Sánchez A, Valdés G, Salcedo M, Franco A, Florido R. Fitoplancton en el humedal tropical Chaschoc en la cuenca baja del río Usumacinta. Revista mexicana de biodiversidad. 2016;87(4):1177-88. <https://goo.su/INn7QW>
6. Gallegos E, Lugo A, Calderón A, Del Rosario Sánchez M, Mayén R. Biodiversidad de protistas amébidos de vida libre en México. Revista mexicana de biodiversidad. 2014; 85:10-25. <https://onx.la/8a33c>

7. Estévez M, Moreno F, Ayllón E, Díaz-Guerra A. Estudio etnográfico del suicidio indígena en la Amazonía colombiana: riesgo suicida comparado con la población no indígena y análisis del subregistro de los datos oficiales. *Revista Colombiana de Psiquiatría*. 2024. <https://onx.la/271f3>
8. La Rotta Á, Torres M. Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Saúde em Debate*. 2017;41(112):77-91. <https://onx.la/77a1f>
9. Novoa H, Arizaca A, Huisa F. Efectos en los ecosistemas por presencia de metales pesados en la actividad minera de pequeña escala en Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. 2022;24(3):182-9. <https://onx.la/b34a7>
10. Menéndez J, Muñoz S. Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. *Paideia XXI*. 2021;11(1):141-54. <https://onx.la/52fd7>
11. Carrasco A. Reconfiguración metabólica y acumulación por desposesión: la industria minera del cobre y el caso de la minera Los Pelambres en la cuenca del río Choapa. *Diálogo andino*. 2019(58):129-38. <https://onx.la/cbc8c>
12. Vilela W, Espinosa M, Bravo A. La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*. 2020(8):210-28. <https://onx.la/d2dd7>
13. Quevedo O, Gómez J, Ramírez C, Estrada T, Moreno C, Mendiguchía C, et al. Estudio de la contaminación por metales en sedimentos acuáticos de la Bahía de Matanzas. *Química Nova*. 2012; 35:924-31. <https://onx.la/33bc4>
14. Guillama G, Ramos N, Sanjuan R, Herrera R, Rivera J, Quevedo O. Evaluación de la contaminación por As, Ni, Cu, Pb, Zn y Cr en sedimentos de la zona marino-costera asociada a la terminal marítima de Nuevitas, Cuba. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 2022; 38:81-94. <https://onx.la/d9e5f>
15. Salinas N, Benitez J, López T. Metales pesados contenidos en los sedimentos de fondo y en la columna de agua del arroyo San Lorenzo, Departamento Central, Paraguay. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*. 2021;26(1):100-14. <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.1.100>
16. Benavente S, Huarcaya R, Chui H, Pérez K, Roque E, Guillen N. Metales pesados en las aguas provenientes de la Rampa San Marcelo, CIA de Minas Sillustani SA. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*. 2022;6(18):516-23. <https://onx.la/e4d4e>
17. Quispe D, Ayamamani P. Representaciones sociales de la relación hombre-naturaleza: mirada del poblador rural del Titicaca. *Mundo Agrario*. 2021;22(51). <https://acortar.link/FJbYNI>
18. Loza del Carpio A, Ccancapa Y. Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada, Puno, Perú). *Revista internacional de contaminación ambiental*. 2020;36(1):33-44. <https://acortar.link/Xbbzsl>
19. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente; 2017. <https://acortar.link/QUGukK>
20. Barriga C, Figueroa E, Chavez B, Flores J, Flores G, Mamani E, et al. Calidad de aguas superficiales y subterráneas en la zona de influencia de una cantera de yeso en el Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2022;88(2):101-16. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v88i2.383>
21. Ramos J. Medición en línea de la DQO mediante correlación del coeficiente de absorción espectral de luz uv. *Producción+ limpia*. 2018;13(2):67-76. <https://acortar.link/QhdYls>
22. Cabezas C. Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*. 2018; 35:309-16. <https://acortar.link/aAeiKR>
23. Velázquez L, Ortiz I, Chávez J, Pámanes G, Carrillo A, Pereda E. Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 2023;25(1):1-13. <https://acortar.link/x7OwOW>