ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/357873515

Tratamiento de aguas ácidas de mina

Article · December 2021

DOI: 10.53942/srjcidi.v1i2.54

CITATIONS
0

READS
62

3 authors, including:



Lizangela Hinojosa
Universidad Nacional Autónoma de Huanta
7 PUBLICATIONS **0** CITATIONS

SEE PROFILE

All content following this page was uploaded by Lizangela Hinojosa on 14 September 2022.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

SCIENTIFIC RESEARCH JOURNAL
Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual

Tratamiento de Aguas Ácidas de Mina

Acid Mine Water Treatment

Hipólito Vargas-Sacha
Universidad Nacional de Huancavelica, Perú
E-mail: hipolito.vargas@unh.edu.pe ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9729-8242

Demetrio Soto-Carbajal
Universidad Nacional de Huancavelica, Perú
E-mail: demetrio.soto@unh.edu.pe ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8639-2954

Lizangela Aurelia Hinojosa-Yzarra
Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú
E-mail: 1912820118@unah.edu.pe ORCID: https://orcid.org/0000-0001- 9567-0303

Resumen

Las aguas ácidas de mina (AAM) provenientes de actividades mineras se manifiestan como drenajes tóxicos en distintos niveles para los seres vivos, conteniendo minerales diluidos constituidos por orgánicos solubles e insolubles de bajo pH que contienen gran cantidad de sólidos en suspensión con alto contenido en sulfatos y minerales como Fe, Al, Mg, Zn, Cu, Pb, Hg, Ni, etc. El objetivo del estudio es comparar métodos de tratamiento de AAM para mejorar la calidad de vida de los seres vivos. La investigación corresponde al estudio de repositorios universitarios, bases de datos como SciELO, ScienceDirect y Web of Science, entre otros y la consulta de artículos científicos en revistas como Geogaceta Geológica, Biotempo, Avances, Terra Latinoamericana y Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Ciencias Biológicas y de la Salud, empleando descriptores como “aguas acidas”, “minería”, “biorremediación” por su aplicación real y crítica a un propósito determinado que conforma una de las principales capacidades en el tratamiento de AAM como la dosificación de “lechada de cal” (cal + agua) tiene resultados positivos en la remoción del Mg del agua de mina. Se concluyó que el proceso de biorremediación es una alternativa económica y amigable con el ambiente que dependen de la actividad de microorganismos y plantas que se deben mantener en condiciones fisicoquímicas adecuadas para optimizar su actividad metabólica.

Palabras Clave

Aguas ácidas, minería, biorremediación.

Abstract

Acid mine water (AMW) from mining activities manifests itself as toxic drainage at different levels for living beings, containing diluted minerals that constitute soluble and insoluble

organics, low in pH, containing large amounts of suspended solids with high sulfate and mineral content such as Fe, Al, Mg, Zn, Cu, Pb, Hg, Ni, etc. The objective of the study was to compare methods of treating AMW to mitigate and control environmental contamination. The research corresponds to the bibliographic verification in university repositories and databases such as SciELO, ScienceDirect and Web of Science, among others, and the consultation of scientific articles in journals such as Geogaceta Geológica, Biotempo, Avances, Terra Latinoamericana and Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, Spain and Portugal, Biological and Health Sciences, using descriptors such as "acidic waters", "mining", "bioremediation", "bioremediation", "bioremediation", "bioremediation", "bioremediation", "bioremediation for its real and critical application to a determined purpose that conforms one of the main capabilities in the treatment of AMW as the dosage of "lime slurry" (lime + water) has positive results in the removal of Mg from mine water. It was concluded that bioremediation processes are an economical and environmentally friendly alternative that depend on the activity of microorganisms and plants, which must be maintained in adequate physicochemical conditions to optimize their metabolic activity.

Keywords
Acid water, mining, bioremediation.

Resumo

A água ácida da mineração (AAM) se manifesta como drenagem tóxica em diferentes níveis para os seres vivos, contendo minerais diluídos compostos de compostos orgânicos solúveis e insolúveis de baixo pH que contêm grandes quantidades de sólidos em suspensão com alto teor de sulfato e minerais como Fe, Al, Mg, Zn, Cu, Pb, Hg, Ni, etc. O objetivo do estudo era comparar os métodos de tratamento AAM para mitigar e controlar a poluição ambiental. A pesquisa corresponde à verificação bibliográfica em repositórios universitários e bancos de dados como SciELO, ScienceDirect e Web of Science, entre outros, e à consulta de artigos científicos em revistas como Geogaceta Geológica, Biotempo, Avances, Terra Latinoamericana e Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España e Portugal, Ciências Biológicas e da Saúde, utilizando descritores como "águas ácidas", "mineração", "biorremediação" para sua aplicação real e crítica para um propósito específico que forma uma das principais capacidades no tratamento de AAM, pois a dosagem de "lama de cal" (cal + água) tem resultados positivos na remoção de Mg da água da mina. Concluiu-se que o processo de biorremediação é uma alternativa econômica e ambientalmente correta que depende da atividade dos microorganismos e plantas, que devem ser mantidos em condições físico-químicas adequadas para otimizar sua atividade metabólica

Palavras-chave
Água ácida, mineração, biorremediação.

1. Introducción

Los minerales sulfurados presentes en las actividades mineras especialmente en minas polimetálicas con sulfuros, donde predomina la pirita y otros elementos, como calcopirita, que genera los drenajes ácidos de mina (DAM) con componentes potencialmente tóxicos que pueden contaminar a los cuerpos de aguas vulnerables ya sean subterráneas como superficiales. La reacción química de la Pirita es por la presencia del aire y el agua que da lugar a través de 2 tipos de mecanismos: Una inorgánica, por la presencia del oxígeno molecular o al ion férrico; y otra a través de la participación biótica, principalmente de microorganismos (Pozo et al., 2017).

Se concluyó que el proceso de biorremediación dependen de la actividad de microorganismos y plantas vivas o de sus enzimas aisladas, se deben mantener las condiciones fisicoquímicas adecuadas para cada organismo o sistema enzimático, de optimizar su actividad metabólica en el proceso de biorremediación, consiguiendo así la eliminación de los minerales y la neutralización del pH, los minerales sulfurosos se oxidan por la presencia del agua, por lo que reduce considerablemente el pH. (Salas et al., 2020).

La regresión glaciar deja descubierto a la intemperie rocas mineralizadas, con presencia de sulfuros, modificando la calidad del agua, produciendo las aguas ácidas. El drenaje ácido natural de roca se produce por reacciones químicas como la oxidación y lixiviación de los minerales, las partículas ácidas son secuestrados en las divisiones vegetativas y/o rizósfera del ecosistema a través de la acumulación, transformación y precipitación de estos, en la vegetación andina encontramos variedades de plantas con potencial biorremediador, capaces de absorber los metales pesados, estas especies han sido ya utilizadas con éxito en sistemas de humedales artificiales para tratar drenajes de relaves, desmontes de actividades mineras. (Zimmer et al., 2018).

La estrategia amigable con el ambiente es la biorremediación, la que se basa en utilizar organismos eucariotas o procariotas para recuperar las zonas contaminadas, muchas investigaciones con bacterias metalotolerantes sirven para remover, estabilizar o desintoxicar de manera eficiente, reduciendo así los costos de tratamiento de labores abandonados por la minería. Los microorganismos y las bacterias, desarrollan capacidades

de sobrevivir en zonas contaminadas por su exhibición constante a la composición tóxica, en esta competencia se incluye la biodecontaminación, bioacumulación, biotransformación de metales y metaloides, capacidades utilizadas para la biorremediación en dichas áreas contaminadas por las operaciones mineras (Santana et al., 2019).

Ayala (2018) menciona que los ensayos experimentales determinaron la administración del óxido de calcio (Cal) como coagulante, floculante y neutralizante actúa efectivamente en el tratamiento de las aguas ácidas, logrando establecer parámetros físico-químicos como el pH de 3.55 u.e en promedio a 8.09 u.e en promedio, y en cuanto a los parámetros inorgánicos como el Fierro de 6.639 mg/L a 0.068 mg/L, Mn de 22.92mg/L a 0.150 mg/L; estos indicadores tienen mayor incidencia negativa en el ambiente.

2. Estado del arte o Marco Teórico

2.1. Biorremediación

Garzón et al. (2017). Menciona que la biorremediación admite disminuir o destituir los desechos peligrosos en el medio ambiente, por lo que se utiliza para limpiar zonas y aguas contaminadas, ya que su espacio de aplicación es extenso, alcanzando a encontrarse como materia de remediación en estados sólidos y líquidos.

2.2. Características de la biorremediación

2.2.1 Condiciones fisicoquímicas durante la biorremediación: Debido a que los procesos de biorremediación dependen de la actividad de microorganismos y plantas vivas o de sus enzimas aisladas, se deben mantener las condiciones fisicoquímicas adecuadas para cada organismo o sistema enzimático, con el objetivo de optimizar su actividad metabólica en el proceso de biorremediación.

2.2.2 Factores que deben optimizarse y mantenerse a lo largo del proceso de biorremediación:

- Concentración y biodisponibilidad del contaminante bajo las condiciones ambientales. Puesto que si es demasiado alta puede ser perjudicial para los mismos microorganismos que tienen la capacidad de biotransformarlos.

E-ISSN: 2789-2727 / Núm. 2 Vol. 1, 175-185, Diciembre 2021 / https://doi.org/10.53942/srjcidi.v1i2.54

- Humedad. La disponibilidad de agua es fundamental para los organismos vivos, así como para la actividad enzimática de catalizadores biológicos libres de células. Generalmente se debe mantener de un 12 a un 25% de humedad relativa en suelos en proceso de biorremediación.
- Temperatura. Debe encontrarse en el rango que permita la sobrevivencia de los organismos aplicados y/o la actividad enzimática requerida.
- Nutrientes biodisponibles. Indispensables para el desarrollo y la reproducción de las bacterias de interés. Principalmente se debe controlar el carbono, fósforo y nitrógeno, así como algunos minerales esenciales.
- La acidez o alcalinidad del medio acuoso o pH (medición de los iones H+ en el medio).
- La disponibilidad de oxígeno: en la mayoría de las técnicas de biorremediación, se utilizan microorganismos aeróbicos (por ejemplo, en el compostaje, las biopilas y el "*landfarming*"), y la aireación del sustrato es necesaria.
- Procesos de biorremediación con el método de *Landfarming* modificado.
- Pueden utilizarse microorganismos anaeróbicos en procesos de biorremediación, bajo condiciones muy controladas en laboratorio (usando biorreactores).

2.2.3 Biorremediación microbiana: La biorremediación microbiana utiliza bacterias o sus enzimas para desintoxicar áreas contaminadas del ambiente, que actúan transformando contaminantes minimizando los riesgos ambientales, asimismo se aplican otros microorganismos como hongos, algas, cianobacterias y actinomicetos para la eliminación de las composiciones tóxicas del suelo (Montenegro et al., 2019)

2.3. Aguas ácidas

Presentan una complicación geoquímica, que intervienen variedades de desarrollo de interacción en las aguas subterráneas y superficiales, asimismo los gases (oxígeno atmosférico), minerales presentes en la formación de acidez y que intervienen en la intensidad natural de los elementos disueltos y distintos tipos de la acción biológica.

2.4. Drenaje de ácidos de mina

El drenaje ácido de mina se compone de un potente origen de contaminantes de aguas subterráneas y superficiales, y en sus tratamientos se encuentran los métodos

E-ISSN: 2789-2727 / Núm. 2 Vol. 1, 175-185, Diciembre 2021 / https://doi.org/10.53942/srjcidi.v1i2.54

pasivos y activos, que abarcan humedales artificiales, muy utilizados en países industrializados con logros interesantes. Es fundamental saber los tipos, procesos físicos, químicos y biológicos, la elección, diseño y construcción de los humedales artificiales en el tratamiento de los DAM (Denegri y Iannacone, 2020). En la remediación de DAM la humanidad ha desarrollado avances tecnológicos para perfeccionar y permitir descargas de afluentes mineros, dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP), que los aspectos legales nacionales e internacionales decretan desde los aspectos naturales hasta los artificiales, desde los costos económicos a los caros, cualquiera sea la remediación de estas aguas ácidas, lo que se pretende es reducir las alteraciones negativas en el ambiente (Ayala 2018).

2.5. Historia de tratamientos de aguas acidas en mina

Soloisolo (2021) menciona que el método de tratamiento del drenaje ácido en mina es esencial para garantizar la calidad de agua, existiendo métodos activos y pasivos, como en una planta química de tratamiento de aguas ácidas que utiliza métodos químicos mediante la adición de sustancias alcalinas, que tiene un costo elevado cuando se trata de grandes volúmenes, mientras que los métodos pasivos que dan lugar a la intervención del hombre, contempla a los humedales, drenajes anódicos calizos, sistemas de producción de alcalinidad y otros; mientras que Aguirre y Huamán (2019) describen que las pruebas desarrolladas experimentalmente establecieron que el procedimiento químico utilizando el óxido de calcio en la remediación de DAM, es eficiente técnicamente, alcanzando remover metales superiores al 95% a un potencial hidrógeno de 10.5., pero el inconveniente que presenta este método es la disposición de iones calcio en los lodos de sedimentación, que son sustraídos y recolectados en un área determinada, para ser reutilizados.

Andamayo (2019) hace mención que las AAM que tienen altos contenidos en sulfatos y metales diluidos alcanzando acumulaciones en cantidades de miligramos por litro, dichos componentes en estas acumulaciones son perjudiciales para los seres vivos, que habitan en la naturaleza. El enorme costo de tratamientos en purificaciones convencionales en plantas de remediación convencional es el método pasivo debido a su costo económico y amigable con el ambiente. Pérez et al. (2020) describen que los logros alcanzados en el tratamiento

de aguas ácidas por el método activo de adición de la caliza y el método pasivo (aserrín y estiércol de corral (cuy) biorreactores) es un procedimiento biológico, que admite que los microorganismos proporcionen la neutralización del agua al bloquear los metales disueltos produciéndolas en sulfuros metálicos. Los pantanos habituales muestran diversas funciones medio ambientales, por su abundancia biológica, física y química que sirve para regular la situación hídrica y controlar el calentamiento global, mostrándose como una opción de eliminación de sustancias toxicas de las aguas ácidas (Lenis y Paola, 2019).

2.6. Neutralización al agua

La neutralización del pH, es la agregación de un alcalino de un ácido a un residuo, para tener como resultado un potencial hidrógeno cerca de 7.0, por lo que se emplea para preservar las fuentes receptoras de descargas alcalinas, acidas o para utilizar el pos tratamiento de dichos residuos, en la fuente receptora, el potencial hidrógeno es un elemento sustancial en las reacciones químicas y biológicas.

3. Materiales y métodos

Se realizó la revisión bibliográfica en distintas bases de datos como SciELO, PubMed, Scopus, ScienceDirect y Web of Science y repositorios universitarios empleando descriptores como “aguas acidas”, “mina”, así mismo se desarrolló un estudio sistemático de artículos científicos publicados en revistas científicas como Geogaceta Geológica, Biotempo, Avances, Terra Latinoamericana y Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Ciencias Biológicas y de la Salud, desarrollando el estado de arte en sus fases heurística y hermenéutica.

4. Resultados

Los resultados obtenidos, tomando en consideración los artículos científicos e informaciones bibliográficas revisadas y analizadas, indican que los DAM, a través de la reducción de la transferencia de oxígeno y agua para los residuos tóxicos, son conseguidos cubriendo los residuos o colocándolos bajo el agua vegetando la cubierta, para disminuir la transferencia de oxígeno y el agua, brindando a la zona de depósito un aspecto más

estético. Por otro lado, los humedales naturales muestran varios servicios medio ambientales, por su regulación hidrobiológica, controlando el calentamiento global, mostrándose como una opción de tratamiento natural de residuos tóxicos mineros.

Queda demostrado que en la remediación de las AAM existen dos métodos: activo y pasivo, en el método activo se utiliza la piedra caliza, cal o lechada de cal, etc. y en el método pasivo se utiliza microorganismos, que reducen los efectos nocivos que generan los laboreos mineros; dichos tratamientos pasivos son los más rentables y amigables con la naturaleza y pueden persistir a través del tiempo con mantenimientos sostenibles en la etapa de cierre de minas, puesto que el enorme costo que generan las plantas de tratamiento de AAM, en su operación, mantenimiento, entre otros, una alternativa para dichos tratamientos es el método pasivo por el bajo costo en su construcción, operación y mantenimiento.

5. Discusión

En la remediación de los drenajes ácidos de la explotación minera se aprecia que los pantanos habituales muestran diversas funciones medio ambientales, por su abundancia biológica, física y química, que son útiles para regular la situación hídrica y controlar el calentamiento global de la tierra, lo cual se demuestra como una opción de eliminación de sustancias toxicas de las aguas ácidas (Lenis y Paola, 2019); en cambio Andamayo (2019) manifiesta que los DAM contienen un alto contenido en sulfato y metales disueltos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb), alcanzando sus concentraciones en decenas de miligramos por litro, dichos elementos son nocivos para la actividad biológica que contaminan los ríos y riachuelos que, en muchos casos, estos recursos hídricos son utilizados en la agricultura. Al respecto, Aguirre y Huamán (2019) manifiestan que las pruebas desarrolladas experimentalmente establecieron que el procedimiento químico utilizando el óxido de calcio en la remediación de DAM, es eficiente técnicamente alcanzando remover metales superiores al 95% a un potencial hidrógeno de 10.5, el inconveniente que presenta este método es la disposición de iones calcio en los lodos de sedimentación, que son sustraídos y recolectados en un área determinada, para ser reutilizados. Asimismo, Denegri y Iannacone (2020) aseveran que, en

el tratamiento de AAM, persisten los procedimientos activos y pasivos, por lo que existen los humedales artificiales que vienen demostrando efectos satisfactorios, lo cual coincide con lo que afirma (Lenis y Paola, 2019).

6. Conclusiones

El desarrollo de las AAM o drenaje ácido de mina es un proceso que depende del tiempo y comprende las reacciones químicas de oxidación como fenómenos físicos relacionados y en cada etapa de la actividad minera como la subterránea y tajo abierto.

Existen métodos activos y pasivos para el tratamiento de AAM, siendo lo más adecuado y rentable los tratamientos del método pasivo, proporcionando un entorno medio ambiental equilibrado con la naturaleza, en estos modelos persiste la biorremediación donde se utilizan plantas y microrganismos que absorben los metales pesados del agua.

En el tratamiento de AAM también se emplea el método químico empleando cal o lechada de cal por lo que la dosificación se realiza de acuerdo el pH obtenido *in situ*, asimismo en la elección del método de tratamiento de los drenajes de mina se debe tener en cuenta los ámbitos geográficos, climatológicos y económicos donde se ejecuta la actividad minera.

Los agentes contaminantes de los DAM afectan la calidad y salud ambiental, principalmente donde se realiza la actividad minera, por lo que es necesario identificar, prevenir, controlar y remediar dichos drenajes de mina, para una convivencia armoniosa con el ambiente, esta contaminación es tipificada como delito ambiental lo que genera impactos negativos al ambiente conforme a las normativas legales vigentes sobre el ambiente en el Perú.

7. Referencias

Andamayo, A. (2019). *Tratamiento de aguas ácidas para la obtención de agua tipo III en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – Tinyahuarco - Pasco – 2019*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Perú]. https://n9.cl/jil0

Aguirre, W. y Huaman R. (2019). *Eficiencia del tratamiento del drenaje ácido de mina en la bocamina prosperidad con método químico empleando cal a nivel de laboratorio*. [Trabajo de grado, Universidad Privada del Norte, Perú]. https://n9.cl/ye8vk

Ayala, R. (2018). *Influencia de la dosificación de cal en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada Mesa de Plata Hualgayoc – 2018"* [Trabajo de grado, Universidad Privada del Norte - Perú]. https://n9.cl/0bbz0

Denegri, D. y Iannacone, J. (2020). Tratamiento de drenaje ácido de minas mediante humedales artificiales (Perú). *Revista Biotempo, 17*(2), 345-369.

Garzón, M., Rodríguez, P., Hernández, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. (Colombia) *Universidad y Salud, 19*(2), 309-318. http://dx.doi.org/10.22267/rus.171902.93

Lenis V., y Paola, D. (2019). Importancia de los humedales naturales y artificiales en el ámbito socio-ambiental. Especialización Control de la Contaminación Ambiental.

Montenegro, S., Pulido, S., y Calderón L., (2019) Prácticas de biorremediación en suelos y aguas Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (Bogotá). *Notas De Campus*, (1). https://n9.cl/2ksix

Pérez, J., Ruiz, A. y Aramburú, V. (2020). Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentradora de Jangas, Perú. *Avances, 22*(2), 208-221.

Pozo, J., Puente, I., Lagüela, S. y Veiga, M. (2017). Tratamiento microbiano de aguas ácidas resultantes de la actividad minera. (España). *Tecnología y Ciencias del Agua 7*(3), 97 – 91.

Santana, A., Sánchez, A., Romero, Y., Toledo, E. S., Ortega., S. y Jiménez., J (2020). Aislamiento e identificación de bacterias tolerantes y bioacumuladoras de metales pesados, obtenidas de los jales mineros El Fraile, México. *Terra Latinoamericana 38*, 67-75.

Salas, F., Guadarrama, P., Gutiérrez, J., García N, Fernández G, y Alarcón M. (2020). Determinación de posible drenaje ácido de mina y caracterización de jales mineros

provenientes de la mina Cerro de Mercado, Durango, México. *Rev. Int. Contam. Ambie. 36* (3), 729-744.

Soloisolo, H. (2021). *Propuesta de tratamiento del drenaje ácido generado por la Unidad Minera Arasi en la microcuenca del rio Llallimayo Puno – 2019* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú]. https://n9.cl/1132b

Zimmer, M., Brito, C., Alegre, J., Sánchez, J., y Recharte J. (2018). Implementación de dos sistemas de biorremediación como estrategia para la prevención y mitigación de los efectos del drenaje ácido de roca en la Cordillera Blanca, Perú. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña 4,* 57-76.

View publication stats