

NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS CON
HIDRÓXIDO DE CALCIO EN UNA EMPRESA
MINERA EN PERÚ

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Forma: Artículo científico

Autor:

Maria Gregoria Escobar Datica

<https://orcid.org/0009-0009-4164-7525>

Asesor:

Mg. Ing. Wilson Carlos Gómez Hurtado

<https://orcid.org/0000-0002-3434-3669>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	
	Eduardo Manuel Noriega Vidal

Jurado 2	
	Danny Daniel Valderrama Gutierrez

Jurado 3	
	Wilson Carlos Gómez Hurtado

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 76 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega tm:oid::1:3088342333

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cá...




Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Activar Win
Ve a Configuraci

DEDICATORIA

Agradezco a la divinidad omnipotente por otorgarme vida, perseverancia,
oportunidades y la capacidad intelectual necesaria para alcanzar una nueva meta en mi carrera
profesional.

A mis amados progenitores y mi hija, cuyo constante respaldo, inspiración y presencia
han sido mi mayor fortaleza a lo largo de mi trayecto académico, incluso en los momentos
más desafiantes."

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud a la divinidad omnipotente por otorgarme la vida, bendiciones innumerables, claridad de pensamiento y la oportunidad de realizar otro de los objetivos y sueños que forman parte de mi plan de vida.

En segundo lugar, extiendo mi agradecimiento a mis progenitores por su inmenso amor, comprensión, valores inquebrantables, paciencia incansable y por su constante confianza en mí. Su apoyo ha sido fundamental en la consecución de mis metas tanto personales como académicas y profesionales.

En tercer lugar, agradezco a mi hija por ser mi amiga, compañera, confidente y mi principal fuente de motivación, siempre acompañándome en este camino repleto de sueños y objetivos.

Por último, quiero expresar mi reconocimiento al ingeniero encargado del desarrollo del curso de tesis por su inestimable apoyo en la asesoría, redacción, enseñanzas y valiosos consejos brindados como tutor en el desarrollo de esta investigación.

Tabla de contenido

JURADO CALIFICADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	22
CAPÍTULO III: RESULTADOS	28
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS	48
ANEXOS	57

Índice de tablas

Tabla 1 Parámetros del pH y temperatura de las muestras de grupo de control	28
Tabla 2 Resultados de los análisis de laboratorio de los metales disueltos en las muestras de grupo de control	29
Tabla 3 Parámetros del pH, la temperatura y conductividad de las muestras de grupo experimental	30
Tabla 4 Resultados de los análisis de laboratorio de los metales disueltos en las muestras de los grupos experimentales	31
Tabla 5 Comparación de los resultados de los parámetros medidos en las muestras antes y después del experimento	32
Tabla 6 Prueba T para el pH de las aguas antes y después del tratamiento (Prueba de muestras independientes)	34
Tabla 7 Prueba T para el arsénico (As) antes y después del tratamiento (Prueba de muestras independientes)	35
Tabla 8 Prueba T para el cobre (Cu) antes y después del tratamiento (Prueba de muestras independientes)	36
Tabla 9 Prueba T para el hierro (Fe) antes y después del tratamiento (Prueba de muestras independientes)	37
Tabla 10 Prueba T para el plomo (Pb) antes y después del tratamiento (Prueba de muestras independientes)	39
Tabla 11 Prueba T para el zinc (Zn) antes y después del tratamiento (Prueba de muestras independientes)	40

Índice de figuras

Figura 1 Porcentaje de remoción de los metales disueltos presentes en las muestras experimentales	33
--	----

RESUMEN

La presente investigación, aborda la problemática de las aguas ácidas en una bocamina de la empresa minera Green Help Perú S.R.L., ubicada en el distrito de San Mateo. Con el propósito de mitigar los impactos negativos en el ecosistema circundante y en la salud de la población, se planteó la utilización de hidróxido de calcio como agente neutralizante. La metodología aplicada fue de enfoque cuantitativo, con un diseño experimental y alcance descriptivo. La población estudiada fue el agua ácida de la bocamina, en la que se tomaron tres muestras del mismo punto, las cuales fueron tratadas con Ca(OH)_2 . Los resultados obtenidos fueron favorables, ya que se logró demostrar de manera que la adición controlada de hidróxido de calcio neutraliza efectivamente las aguas ácidas, elevando el pH de un promedio de 2,63 a 8,49. Asimismo, se observó una notable reducción en la concentración de metales disueltos después del tratamiento, confirmando su eficacia en la mitigación de la contaminación. En conclusión, el hidróxido de calcio logra neutralizar el agua ácida a través de una reacción química que aumenta el pH, disminuye la acidez y reduce la concentración de metales.

PALABRAS CLAVES: neutralización de aguas ácidas, pasivo ambiental minero, hidróxido de calcio.

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto** por determinación de los propios autores, en concordancia con en el Texto Integrado del Reglamento RENATI (artículo 12), la Directiva N° 004-2016-CONCYTEC-DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, así como la Ley N° 29733, Ley de Protección de Datos Personales.

REFERENCIAS

- Activos Mineros SAC - AMSAC (2022). *Memoria Anual 2022*. <https://www.amsac.pe/wp-content/uploads/2023/04/Memoria-Anual-2022-AMSAC.pdf>
- Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina generación y tratamiento. *Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente*, 140 p. https://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf
- Aguirre, W., & Huamán, 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 investigación para optar por el grado de bachiller, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada del Norte. <http://hdl.handle.net/11537/15018>
- Alegre, A. (2022). *Remediación de un efluente minero mediante bioadsorción con Serratia marcescens M8a-2T* [Tesis para optar al grado de magister, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional Cybertesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/18442>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6.^a ed.). Editorial Episteme C.A.
- Arranz, J. et al. (2022). *Glosario técnico en materia de gestión de pasivos ambientales mineros. Asociación de Servicios de Geología y Minería de Iberoamérica*, 30 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4454>

- Azcona, H. (2022). *Estudio comparativo de métodos de remediación de pasivos ambientales mineros en el Perú* [Tesis para optar al grado de Ingeniero, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/32587>
- Carhuaz, D. (2022). *Tratamiento de aguas ácidas del pasivo ambiental minero relavera Quiulacocha, mediante neutralización del pH, Pasco – Perú* [Trabajo profesional para optar al grado de Ingeniero, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2617>
- Chappuis, M. (2019). *Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú. Medio Ambiente y Desarrollo 168, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*.
- Congreso de la República (2004). *Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3588-28271>
- Corzo, A. (2015). *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, distrito de san mateo de Huanchor, Lima* [Tesis para optar al grado de magister, Pontificia Universidad La Católica del Perú]. Repositorio institucional de Pontificia Universidad La Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6160>

- Cota, K., Núñez, J., Delgado, M., & Martínez, A. (2019). Biorremediación: actualidad de conceptos y aplicaciones. *Biotecnia*, 21(1), 37-44.
<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i1.811>
- Custodio, A. (2023). *Colección y tratamiento del Drenaje Acido de Minas de la Unidad Minera La Zanja del Grupo Buenaventura* [Tesis para optar por el grado de ingeniero, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16621>
- Díaz, W. (2016). *Contaminación del ecosistema en San Mateo de Huanchor por los pasivos ambientales mineros metalúrgicos y su impacto en la salud de los pobladores* [Tesis para optar al grado de magister, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5045>
- Díaz, F. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de salud pública*, 16 (6), 947-957.
<http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v16n6.45406>
- Flores, S., Núñez, P., Zegarra, E., & Flores, J. (2019). Metodología de tratamiento de remediación de pasivos ambientales mineros de Cerro El Toro de Huamachuco para el desarrollo sostenible. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 22(44), 85–94.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17289>

- García, S. (2018). *Remediación de los pasivos ambientales mineros generados por la ex unidad minera Lichicocha activos mineros SAC con fines de disminuir los lixiviados a la subcuenca del río Santa Eulalia y cuenca del río Rímac* [Tesis para optar al grado de Ingeniero, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/815>
- Guadarrama, E. (2022). *Casos de estudio de métodos de remediación: bioventeo, oxidación química y remediación electrocinética* [Tesis para optar al grado de Ingeniero, Universidad Autónoma de México]. Repositorio Institucional Universidad Autónoma de México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/RepoFi/18169>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw.
- Huayta, L. (2017). *Propuesta de tratamiento electroquímico en aguas de filtración de relave, provenientes de Southern Copper Corporation en la región Moquegua, para su uso agrícola* [Tesis para optar el grado de Ingeniera, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3010>
- Jiménez, H. (2017). *Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi – Puno* [Tesis para optar el grado de Ingeniera, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional Universidad Peruana Unión. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/856>

- Kirschbaum, A., Murray, J., Arnosio, M., Tonda, R. & Cacciabue, L. (2012). Pasivos ambientales mineros en el Noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(1), p. 248-264.
- Licapa, R. (2015). *Influencia del Tiempo de Retención y Composición del Sustrato en la Remoción de Hierro y Cobre del Drenaje Ácido de Mina en Humedales Artificiales* [Tesis para optar el grado de maestra, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1553>
- López, H. (2016). *Tratamiento anaeróbico de aguas ácidas de mina con travertino y compost a escala de laboratorio* [Tesis para optar el grado de Ingeniero, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/2159>
- López, L., López, M. & Medina, G. (2017). La prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia: una propuesta metodológica. *Entramado*, 13(1), 78-91. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25138>
- López, M., Santos, J., Quezada, C., Segura, M., & Pérez, J. (2016). Actividad minera y su impacto en la salud humana. *Revista Ciencia UNEMI*, 9 (17), 92-100.
- Martínez, V. (2013). Métodos, técnicas e instrumentos de investigación. Manual multimedia para el desarrollo de trabajo de investigación (1ª ed.).

https://eduvirtual.cuc.edu.co/moodle/pluginfile.php/629669/mod_resource/content/1/M%C3%A9todos%20t%C3%A9cnicas%20%20e%20instrumentos%20de%20investigaci%C3%B3n.pdf

Mauricio, N. (2022). *Remediación ambiental de las zonas alteradas por la minería colonial, mediante el aprovechamiento de sus relaves en el distrito de Vicco y alrededores* [Tesis para optar al grado de Ingeniero, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2901>

Nieto, E. (2018). *Tipos de investigación*. Universidad Santo Domingo de Guzmán, 2.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos – OCDE. (2015). *Manual de Frascati 2015: Guía para la Recopilación y Presentación de Información sobre la Investigación y el Desarrollo Experimental*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. <https://doi.org/10.1787/9789264310681-es>

Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R. & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Una revisión, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 14 (27)*, 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>

Pereira, C. & Ariza, E. (2023). Caracterización de los pasivos ambientales: el caso colombiano. *REVISIÓN HUMANA. International Humanities Review / Revista Internacional De Humanidades, 19 (3)*, 1–12. <https://doi.org/10.37467/revhuman.v19.4923>

- Rabanal, D. (2021). *Operación en la planta de tratamiento de aguas ácidas en la UM ANABI S.A.C.* [Tesis para optar por el grado de ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12837>
- Riesgo, P., Rodríguez, G., Krzemień, A., García, S. & Fidalgo, G., (2020). Subsistencia versus deslizamientos naturales cuando se trata de responsabilidades por daños a la propiedad en minas de carbón subterráneas. *Revista Internacional de Mecánica de Rocas y Ciencias Mineras*, 126 (1), 104175. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.104175>.
- Rodríguez, Y. (2011). *Evaluación de la contaminación por metales en pasivos ambientales de actividades metalúrgicas históricas en el distrito minero Cerro de San Pedro* [Tesis para optar al grado de magister, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. Repositorio institucional UASLP - Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3551>
- Rojas, J. et al. (2022). Pasivo ambiental minero: una fuente potencial de contaminación por metales para los ecosistemas de agua dulce en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, (68), 329-352. <https://dx.doi.org/10.15359/rgac.68-1.12>
- RoyChowdhury, A., Sarkar, D. & Datta, R. (2015). Remediación del agua afectada por el drenaje ácido de la mina. *Curr Pollution Rep*, 1, 131-141. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0011-3>
- Saade, M. (2014). *Buenas prácticas que favorezcan una minería sustentable: la problemática en torno a los pasivos ambientales mineros en Australia, el Canadá, Chile, Colombia,*

los Estados Unidos, México y el Perú (CEPAL).

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37106/S201420301_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía - SNMPE (2022). *Minería. Principales países productores de minerales*. <https://www.exploradores.org.pe/mineria/principales-paises-productores-de-minerales.html>

Soloisolo, H. (2021). *Propuesta de tratamiento del drenaje ácido generado por la Unidad Minera Arasi en la microcuenca del río Llallimayo Puno – 2019* [Tesis para optar al grado de Ingeniero, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15441>

Ticona, W. (2018). *Recuperación de suelos de las riberas de la laguna choquene generados por la contaminación de pasivos ambientales mineros en el Proyecto Minero Sillustani - Minsur S.A.* [Tesis para optar al grado de Ingeniero, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8273>

Vásquez, Y. & Escobar, M. (2020). Reactores bioquímicos pasivos: una alternativa biotecnológica para la remediación de drenajes ácidos en mina. *Revista Colombiana Biotecnológica*, (22) 1, 53-59. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v22n2.74090>

Volke, T. & Velasco, J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados.*

Instituto Nacional de Ecología.

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/372.pdf>