



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática de los Métodos Activos y Pasivos en el
Tratamiento de Drenajes Ácidos de Mina**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Gamión Abarca, Jorge Luis (ORCID: 0000-0002-0598-5895)
Horna Collantes, Odalis Jamally (ORCID: 0000-0003-2094-161X)

ASESOR:

Mgtr. Herrera Díaz, Marco Antonio (ORCID: 0000-0002-3124-2403)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A nuestros padres por haber forjado personas de bien; Mucho de los logros se debe a ellos entre los que incluye este. Nos formaron con reglas y libertades, pero al final de cuentas, nos motivaron constantemente para alcanzar nuestros anhelos.

AGRADECIMIENTO

Familia, amigos y personas especiales en nuestras vidas. Este nuevo logro sumamente importante, de la mano de los Consejos y ánimos motivadores para la culminación de este Proyecto.

Índice de Contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de Diagramas	vi
Índice de Abreviaturas	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. La minería en Latinoamérica	4
2.2. Drenajes ácidos de mina	4
2.3. Impactos de los drenajes ácidos de mina	6
2.4. Tratamientos activos y pasivos para los DAM	7
2.5. Antecedentes	8
III. METODOLOGÍA	19
3.1. Tipo y diseño de investigación	19
3.2. Categorías, subcategoría y matriz de categorización apriorística	20
3.3. Escenario de estudio	23
3.4. Participantes	23
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.6. Procedimientos	24
3.7. Rigor científico	25
3.8. Método de análisis e información	26
3.9. Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
V. CONCLUSIONES	36
VI. RECOMENDACIONES	37
VII. REFERENCIAS	38

Índice de Tablas

Tabla Nº 1: Clasificación de los DAM según grado de acidez	5
Tabla Nº 2: Principales efectos de los metales pesados en la salud humana y la fisiología de las plantas	6
Tabla Nº 3: Estudios Previos de métodos activos y pasivos para DAM	9
Tabla Nº 4: Matriz de categorización apriorística	21
Tabla Nº 5: Aspectos relevantes de los tratamientos activos y pasivos para DAM	28
Tabla Nº 6: Tipos de métodos activos para tratamiento de DAM	31
Tabla Nº 7: Tipos de métodos pasivos para tratamiento de DAM	32

Índice de Diagramas

Diagrama Nº 1: Procedimiento de información 24

2

Índice de Abreviaturas

- DAM: Drenaje Ácido de Mina
- SNMPE: Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y energía
- pH: Potencial de hidrogeno
- HA: Humedales artificiales
- DAC: Drenajes anóxicos en calizas
- PCA: Productores Continuos de alcalinidad
- PC: Piletas de caliza
- CC: Canales de caliza
- BRP: Barreras reactivas permeables
- TAC: Tratamiento de arena calcárea
- MRS: Microorganismos reductores de sulfato
- ECA: Estándares de Calidad Ambiental
- LMP: Límite Máximo Permisible
- ADES: Intercambio difusivo alcalino System
- SDES: Sistema de intercambio difusivo sulfogénico
- DAS: Sustrato alcalino disperso
- ASBR: Actividad de las bacterias reductoras de sulfato

Resumen

En la presente investigación, se planteó como principal objetivo analizar los aspectos relevantes de la aplicación de métodos activos y pasivos en el tratamiento de drenajes ácidos de mina (DAM), en cual muestra que actualmente la minería como problemática principal ha desencadenado una serie de consecuencias para el ambiente y los recursos naturales. Es por ello, que diversos estudios han indagado en determinar un tratamiento eficiente y sostenible para disminuir o eliminar los contaminantes presentes en los efluentes mineros.

Por un lado, plantean los métodos activos tales como actividades con bacterias reductoras de sulfatos, neutralización, adsorción, precipitación selectiva y osmosis inversa, que constituyen sistemas con altos presupuestos y menor tiempo de aplicación, mientras que por otro lado, proponen los métodos pasivos basados en el uso de recursos naturales como soporte principal para el tratamiento están dados en base a humedales, inyección de sustrato orgánico, fitorremediación, barreras reactivas permeables y reactores pasivos bioquímicos, los cuales son sistemas ecoeficientes pero con largo periodo de tiempo.

No obstante, dichos métodos al ser aplicados individualmente pueden conllevar a la toma de tiempo o altos presupuestos, sin embargo, diversas literaturas coinciden en la aplicación combinada de métodos activos y pasivos para el tratamiento de drenajes ácidos de mina, puede conllevar a un resultado con mayor eficiencia de remoción, eliminación o reducción de los metales pesados presentes en los efluentes residuales.

Palabras claves: DAM, minería, métodos activos, métodos pasivos, metales pesados

Abstract

In this research, the main objective was to analyze the relevant aspects of the application of active and passive methods in the treatment of acid mine drainage (AMD), which shows that currently mining as a main problem has triggered a series of consequences for the environment and natural resources. Therefore, several studies have investigated to determine an efficient and sustainable treatment to reduce or eliminate the pollutants present in mining effluents.

On the one hand, propose the active methods such as activities with sulfate-reducing bacteria, neutralization, adsorption, selective precipitation and reverse osmosis, which are systems with high budgets and shorter application time, while on the other hand, propose the passive methods based on the use of natural resources as the main support for treatment are given based on wetlands, injection of organic substrate, phytoremediation, permeable reactive barriers and passive biochemical reactors, which are eco-efficient systems but with a long period of time.

Nevertheless, such methods when applied individually can lead to time or high budgets, however, several literatures coincide in the combined application of active and passive methods for the treatment of acid mine drains, can lead to a result with greater efficiency of removal, elimination or reduction of heavy metals present in the residual effluents.

Keywords: AMD, mining, active methods, passive methods, heavy metals

I. INTRODUCCIÓN

Todos los seres vivos están compuestos por alto porcentaje de agua, uno de los recursos naturales más esenciales e importantes del planeta, ya que sus múltiples beneficios para el ser humano y el ambiente lo hacen ser indispensable, además que es la única sustancia que coexiste en tres estados físicos, es por ello que debido a su abundancia y diversas propiedades que posee, esta es utilizada no solo para la sobrevivencia humana sino para fines comerciales, domésticos e industriales (López, S., et al., 2017, p.687). Sin embargo, a medida del tiempo ciertos factores como la sobrepoblación, el desarrollo de actividades económicas e industrialización han conllevado a sus escasas continua y contaminación de dicho recurso, lo que actualmente trae como consecuencia sus escasas y sobre demanda vaya en aumento.

Ahora bien, la contaminación de aguas, es uno de los problemas más preocupantes en la actualidad, y teniendo en cuenta que las actividades industriales y mineras son consideradas como las más contaminantes, debido a que en sus procesos se incluyen sustancias tóxicas grande cantidades de agua, y estas a su vez son descargadas como efluentes o residuos, hacia fuentes naturales, provocando su alteración y contaminación.

Desde un enfoque más puntual las actividades mineras son las más influyentes para la estabilidad económica, puesto que genera divisas para la estabilización de la población, y su crecimiento ha sido considerablemente significativa en nuestro país, al respecto de acuerdo con la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y energía (SNMPE), la cual manifiesta que Perú es uno de los países con mayor explotación, siendo el segundo país donde se explota más plata y cobre, tercero en zinc y estaño, cuarto en plomo y molibdeno y por sexto en oro (p.1), lo cual significa que dicha actividad está permanente y activa a lo largo del tiempo.

Sin embargo, sus procesos están relacionados con la explotación de recursos no renovables, lo que la hace también una de las actividades más peligrosa

para el ambiente, debido a la generación de residuos, siendo una de las más peligrosas a tener en cuenta los DAM - Drenajes Ácidos de Mina, cuya producción se debe por la oxidación de sulfuros, como la pirita que, al quedar expuesto a factores ambientales como el agua y oxígeno, provoca reacciones de oxidación (Zevallos, J., 2016, p.13). Por otro lado, Aduvire, O. (2006), refiere que los drenajes son las fuentes principales de contaminación tanto en aguas superficiales como subterráneas, siendo tóxicos para los recursos naturales, fauna, flora y población debido a la presencia de metales disueltos, además de tener la característica de poseer pH bajo, y gran cantidad de sólidos en suspensión (p. 1).

Es preciso tomar en cuenta que las industrias mineras, tienen grandes responsabilidades y obligaciones con el ambiente, los recursos naturales y la población ya que poseen un riesgo en la salud poblacional, siendo la inhalación e ingesta las dos formas o causas más peligrosas, su efecto depende en gran parte del tipo de metal y su concentración, puesto que provoca desde daños en los órganos vitales hasta el desarrollo de células cancerígenas. (Reyes, Y., et al., 2016, p.67).

De esta manera, los drenajes ácido de mina constituyen una de las principales problemáticas ambientales a tomar en cuenta, por lo tanto, el desarrollo de alternativas viables para su tratamiento ha ido incrementado en los últimos años, con la finalidad de eliminar o reducir el contaminante, es por ello que, por un lado, se han considerado la implementación de tratamientos activos, los cuales requieren de una serie de procesos que implica el uso de sustancias químicas, control constante del sistema, electricidad, entre otros insumos, generando costos (Jaramillo, A. y Contreras, M, 2019, p.36), mientras que, por el contrario, en los tratamientos pasivos no requieren el aporte de sustancias químicas, ni algún otro tipo de elemento mecánico (Sánchez, J. y Ferreira, J., 2012, p.21).

Es por ello que el presente estudio, plantea como principal problema a desarrollar: **¿Cuáles son los aspectos relevantes para la aplicación de**

métodos activos o pasivos en el tratamiento de drenajes ácidos de mina?

Del mismo modo como problemas específicos se tiene:

- PE1: ¿Cuáles son los tipos de métodos activos y pasivos aplicados al tratamiento de drenajes ácidos de mina?
- PE2: ¿En qué medida la aplicación combinada de métodos activos y pasivos influye en el tratamiento de drenajes ácidos de mina?

En tal sentido, la presente revisión sistemática tiene como principal objetivo: **Analizar los aspectos relevantes de la aplicación de métodos activos y pasivos en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.**

Mientras que los objetivos específicos planteados son:

- OE1: Describir los tipos de métodos activos y pasivos aplicados al tratamiento de drenajes ácidos de mina
- OE2: Identificar en qué medida la aplicación combinada de métodos activos y pasivos incluye en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.

Finalmente, la presente revisión sistemática, se justifica bajo la finalidad de criterios de responsabilidad social, ambiental y económica que deben afrontar las empresas mineras, para evitar la continua degradación del medio y los reducir los impactos adversos que se produzcan durante el desarrollo de sus procesos. Así mismo, tener en claro que la minería, así como es una actividad de gran importancia para la economía, también presenta un reto frente al desarrollo sostenible y es que debe en todo momento tener en cuenta los riesgos e implicancias de sus actividades y procesos sobre la comunidad y el ambiente (Huiza, A. y Orellana, W., 2015, p.21).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. La minería en Latinoamérica

Las actividades mineras en Latinoamérica surgen a fines de la década de 1980, a causa del agotamiento de depósitos minerales de los países de economía central, de tal modo que los países latinoamericanos hoy en día son los primeros en inversión minera (Armendáriz, E., 2014, p.19), no obstante los procesos mineros vienen haciendo aquellos relacionados con la explotación y exploración de recursos no renovables, es decir un proceso mediante el cual se remueve gran cantidad de roca y suelo, que presentan mineral, en conjunto con la manipulación de grandes cantidades de agua, siendo su demanda cada vez mayor y considerándose una actividad motora principal que mueve la economía en los países.

No obstante, las autoridades como es el ministerio del ambiente y el Ministerio de energía y mina, han hecho esfuerzos para que dicha actividad se lleve cuidadosamente sin comprometer al ambiente o salud poblacional, para ello se implementaron normativas, dentro de las cuales se encuentran los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), los cuales son a los valores máximos permitidos que un contaminante o parámetro físico, químico y biológico presente en un líquido el cual tiene la función de medio receptor (D.S. 004-2017-MINAM). Así mismo, se determinó valores como Límite Máximo Permisible (LMP) los cuales son la medida de concentración o grado de un elemento, sustancia o parámetro fisicoquímico – biológico que caracteriza a un efluente líquido, que en su condición de exceso puede causar daños en el ser humano y ambiente. (D.S. 010-2010-MINAM)

2.2. Drenajes ácidos de mina

Dicha actividad también genera una serie de problemas medioambientales más preocupante la generación de drenajes ácidos de mina (DAM), los cuales al llegar a tener contacto con los recursos generan su degradación. No obstante, referirse a DAM, significa el resultado de la oxidación natural de minerales sulfurados los cuales están contenidos en material rocoso (pirita),

el cual ha estado expuesto a diversos factores ambientales como: aire y agua, así mismo estos líquidos presentan características como pH menor a 5, concentración de Sólidos Disueltos totales, sulfatos, hierros entre otros. (Ibáñez, P., 2015, p.14).

Este tipo de residuos minero, comúnmente es generado por los efluentes ácidos en contacto con sulfuros metálicos y actividad microbiana, siendo las principales fuentes de generación; Las rocas de desecho y relaves, minas subterráneas y cielo abierto, aglomeración de mineral, otro aspecto importante es la presencia de bacterias catalizadoras de oxidación de sulfuros (Andrade, V., 2010, p.19). Por otro lado, mediante la siguiente fórmula se puede explicar las reacciones que se producen para la generación de DAM a partir de la oxidación de pirita:



Por otro lado, el agua ácida empieza a movilizarse en conjunto con los metales (Al, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn), liberados de la oxidación, los cuales se vuelven más solubles en agua con pH bajo. (Pulcha, J. & Valencia, M., 2019, p.18), clasificándose en:

Tabla N° 1: Clasificación de los DAM según grado de acidez

DESCRIPCIÓN	RANGO
Muy ácido	Acidez neta > 300 mg/l de CO ₃ Ca equivalente.
Moderadamente ácido	Acidez neta entre 100 y 300 mg/l de CO ₃ Ca equivalente.
Débilmente ácido	Acidez neta entre 0 y 100 mg/l de CO ₃ Ca equivalente.
Débilmente alcalino	Alcalinidad neta < 80 mg/l de CO ₃ Ca equivalente.
Fuertemente alcalino	Alcalinidad neta mayor o igual a 300 mg/l de CO ₃ Ca equivalente.

Fuente: Sánchez, J. y Ferreira, J., 2016, p.13.

2.3. Impactos de los drenajes ácidos de mina

Dentro de los impactos más significativos que causan los DAM se encuentra (Jaramillo, A. y Contreras, M., p.17).

- Pérdida parcial o total de biodiversidad
- Alteración de los ecosistemas.
- Alta concentración de sulfatos, iones metálicos, metales pesados y acidez.
- Contaminación de cuerpos de agua natural
- Afecciones en la salud del ser humano, animales y plantas.

Así mismo, se en la siguiente tabla se presenta los efectos que pueden causar los drenajes ácidos de mina tanto en la salud humana y las plantas:

Tabla N° 2: Principales efectos de los metales pesados en la salud humana y la fisiología de las plantas

	Efectos principales	
Metales pesados	Posibles repercusiones en la salud humana.	Posibles respuestas fisiológicas de las plantas.
Arsénico	Bronquitis, cáncer de piel y vejiga, insuficiencia renal, hemolisis, medula ósea, depresión.	Inhibición del crecimiento, Pérdida de rendimiento y producción de fruta, Cadena alimentaria envenenamiento.
Cadmio	Disfunción renal, enfermedad pulmonar, cáncer de pulmón.	Disminuye la germinación de las semillas y el contenido en lípidos.
Manganeso	Daños en el sistema nervioso central.	
Mercurio	Deterioro del desarrollo neurológico, disminución de la memoria.	Disminuye la actividad fotosintética, la captación de agua y el antioxidante.

	Efectos principales	
Metales pesados	Posibles repercusiones en la salud humana.	Posibles respuestas fisiológicas de las plantas.
Níquel	Dermatitis alérgica de contacto, bronquitis crónica, cáncer de pulmón y nasal.	Disminuye la germinación de semillas, la producción de proteínas y enzimas.
Zinc	El daño a la membrana nerviosa.	Reduce la toxicidad del Ni, promueve el crecimiento de las plantas.
Cromo	Necrosis de hígado y riñón, úlceras en la piel.	Disminuye el crecimiento de las plantas por el daño de las membranas, la clorosis y daño en la raíz.
Cobre	Anemia, daño hepático y renal.	Inhibe la fotosíntesis y el proceso reproductivo.

2.4. Tratamientos activos y pasivos para los DAM

No obstante, existen una serie de tratamientos que tienen como finalidad mitigar, eliminar o reducir el contaminante, dentro de los cuales se encuentran.

- Los tratamientos activos; son aquellos donde es indispensable contar con una supervisión constante del sistema, adicionalmente se requiere corriente eléctrica, insumos químicos, entre otros. El tratamiento en sistemas activos implica una fase previa de oxidación mediante la aplicación de aire natural o mecánico, seguidamente se adiciona un agente neutralizante de tal modo que se ajuste a un pH estable y permisible para descarga. Cabe agregar que este tipo de tratamiento genera altos costos en su aplicación (Jaramillo, A. y Contreras, M., 2019, p.36). Los métodos de tratamiento activo utilizan agentes neutralizadores para elevar el pH hasta los estándares de calidad de las aguas residuales.

- Los tratamientos pasivos; son aquellos métodos en el cual la intervención humana no es relativamente necesaria, requiere de un mínimo manejo de reactivos químicos u otros subproductos, y no es indispensable el uso de electricidad, además que constituyen un tratamiento más atractivo debido a su baja inversión. Dentro de dichos tratamientos se encuentran: los humedales, canales de caliza abiertos y cerrados, barreras reactivas permeables entre otros (Jaramillo, A. y Contreras, M., 2019, p.36).

2.5. Antecedentes

En estudios previos, con respecto a la aplicación de métodos activos y pasivos tenemos a:

Tabla N° 3: Estudios Previos de métodos activos y pasivos para DAM

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
Radmilla, M., et al. (2020)	New Approach of Metals Removal from Acid Mine Drainage	Artículo Científico	Research Gate	<p>La investigación se realizó en Serbia, con el objetivo de eliminar los metales presentes en drenajes ácidos de mina, utilizando la combinación de dos métodos activo y pasivo: neutralización en dos etapas (control de pH para separar metales en los lodos y precipitación) y mediante una planta semi industrial se llevó a cabo el proceso de adsorción utilizando como adsorbente el quitosano, una técnica para eliminar los iones metálicos del agua mediante adsorbentes orgánicos o inorgánicos.</p> <p>Finalmente determino que dicha combinación de metales (neutralización y adsorción), resulta eficaz en la extracción de metales presentes en DAM.</p>
Schwarz, A., et al. (2020)	Evaluation of Dispersed Alkaline Substrate and	Artículo Científico	Research Gate	Mediante su estudio realizó la evaluación de 3 métodos de tratamiento pasivo de DAM, ADES (intercambio difusivo alcalino System), SDES

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
	Diffusive Exchange System Technologies for the Passive Treatment of Copper Mining Acid Drainage			(sistema de intercambio difusivo sulfogénico) y DAS (sustrato alcalino disperso). Cada metodología fue realizada en reactores separados, determinando que DES mostró un buen rendimiento en el tratamiento químico y biológico de AMD eliminando los problemas de obstrucción, contribuyendo a aumentar la vida útil del reactor ADES, y controlando los efectos nocivos de los metales, favoreciendo el establecimiento de una comunidad diversa. El estudio indica que las limitaciones de cada tratamiento podrían superarse combinando los tratamientos.
Rambabu, K., et al. (2020)	Biological remediation of acid mine drainage: a review of past trends and current perspectives	Artículo Científico	Elsevier	En su investigación realizan una revisión de los sistemas de tratamientos activos y pasivos para el tratamiento de DAM, destacando principalmente los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento pasivo: inyección de sustrato orgánico, barreras reactivas permeables,

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
				<p>camas de infiltración, estanques anóxicos, humedales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento activo: procesos de una sola etapa, precipitación de metales antes de la reducción de sulfatos, tratamiento combinado de corrientes múltiples, fuente externa de H₂S. • Los principales factores involucrados son el costo de materiales de encalado y productos químicos catiónicos, eliminación de lodos o corrientes de residuos y costos de mantenimiento y mano de obra. Críticamente los factores enumerados anteriormente deben evaluarse en función de uno otro.
Rodriguez, M., et al. (2019)	Remediation of acid mine drainage	Artículo Científico	Springer link	En este estudio los investigadores realizaron la revisión de varias opciones de tratamiento como la precipitación selectiva de metales, de adsorción, procesos electroquímicos y procesos de membrana. La adsorción es la más empleada

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
				comercialmente ya que puede recuperar el 99% de los metales. Los procesos de membrana son prometedores según los resultados a escala de laboratorio, sobre todo porque la alta calidad se obtiene agua.
Zipper, C., Skousen, J. y Jage, C. (2018)	Passive Treatment of Acid- Mine Drainage	Artículo Científico	Research Gate	Tuvieron como objetivo describir claramente los mecanismos que rigen la eficacia y el rendimiento de estos sistemas de tratamiento pasivo, Los sistemas de tratamiento pasivo pueden ser un componente de una estrategia de tratamiento de la DMA. Pueden funcionar como estrategias de tratamiento independientes o como pretratamiento para reducir el costo del tratamiento activo. Tratamiento pasivo el rendimiento del sistema varía significativamente entre los sistemas construidos, debido a las diferencias en las condiciones del sitio. Un factor que influye en el rendimiento de los sistemas que utilizan la piedra caliza es la acidez influyente, ya

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
				que los sistemas que reciben una mayor acidez suelen ser capaces de neutralizar.
Castro, E., et al. (2018)	Acid mine drainage treatment and metal removal based on a biological sulfate-reducing process	Artículo Científico	Scielo	<p>El propósito principal de esta investigación fue explorar la capacidad de un reactor de lotes agitados anaeróbicos (ASBR) para tratar el drenaje ácido de minas (AMD) basado en la actividad de las bacterias reductoras de sulfato (SRB).</p> <p>Las eficiencias de eliminación de Fe²⁺, Zn²⁺ y Cu²⁺ fueron alto desde el momento en que se añadieron, reflejando estabilidad operacional. El proceso tenía suficiente capacidad para recibir grandes cargas de metal.</p>
Seervi, V., et al. (2017)	Overview of Active and Passive Systems for Treating Acid Mine Drainage	Artículo Científico	Research Gate	<p>Los autores, tuvieron como principal objetivo realizar una revisión técnica de los principales tratamientos activos y pasivos para el tratamiento de DAM, determinando los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Métodos activos: Precipitación química (utilizando compuestos químicos alcalinos),

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
				<p>aireación en línea (utilizando procesos de aireación y neutralización), electro-precipitación (método de adsorción), oxidación (reducción y oxidación de metales), Mecanismo transferencia de oxígeno al agua, cinética (aireación), dosificación con álcali (elevar pH y acidificación), mecanismo (adición de cal), sedimentación, osmosis inversa, intercambio de iones y Tecnologías de tratamiento electroquímico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Métodos pasivos: humedales aeróbicos, humedales anaeróbicos, canales abiertos de piedra caliza, pozos de desviación, Drenajes de piedra caliza anóxica, • Finalmente concluyen que las técnicas de tratamiento pasivo se utilizan sobre todo para el post-cierre de minas y son más adecuadas para la DMA con baja acidez y las bajas tasas de flujo. Las técnicas de tratamiento activo

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
				suelen requerir la adición programada de reactivos y un mantenimiento regular y puede ser diseñado para adaptarse a cualquier acidez, tasa de flujo y carga de acidez.
Pérez, N., Schwarz, A. y Urrutia, H. (2016)	Tratamiento del drenaje ácido de minas: estudio de reducción de sulfato en mezclas orgánicas	Artículo Científico	SciELO	En su estudio, los autores plantean el uso de un método de tratamiento pasivo de barreras permeables reactivas (BPR), para interceptar y remover contaminantes, donde el material reactivo se dispone como barrera en el subsuelo, y el sulfato, los metales y la acidez son removidos por la actividad metabólica de los microorganismos reductores de sulfato (MRS). Finalmente, concluyen que esta metodología permite reducir los compuestos contaminantes a compuestos no peligrosos, inmovilizarlos o convertirlos en menos tóxicos.
Skousen, J., et al. (2016)	Review of Passive Systems for Acid Mine Drainage	Artículo Científico	Research Gate	En su investigación, pretenden determinar los tipos de sistemas pasivos, con los cuales puedan mitigar los DAM, basado en procesos naturales

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
	Treatmen			<p>para neutralizar la acidez y oxidar o reducir y precipitar los contaminantes metálicos, dichas metodologías son consideradas para pequeña a moderada descargas de la química apropiada, pero generalmente se requiere una inspección y mantenimiento periódicos, además de una eventual renovación. Las tecnologías de tratamiento pasivo pueden ser separados en tipos biológicos y geoquímicos. Las tecnologías de tratamiento biológico pasivo se basan generalmente en actividad bacteriana, y puede utilizar la materia orgánica para estimular la reducción de sulfato microbiano y para adsorber contaminantes; humedales construidos, humedales de flujo vertical y Los biorreactores son todos ejemplos. Los sistemas geoquímicos colocan materiales generadores de alcalinidad como la piedra caliza en contacto con la DMA (tratamiento directo) o con el agua dulce</p>

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
				mejorada de la DAM.
Strosnider, W., et al. (2015)	Análisis del co-tratamiento pasivo de aguas residuales Municipales y drenaje ácido de minas en cerro rico de Potosí, Bolivia	Artículo Científico	Redalyc	El estudio planteo como objetivo determinar velocidades de reacción de Al, Fe, Mn, Zn, y otros metales en DAM provenientes de un flujo de agua en Cerro Rico usando un sistema reactor de tres etapas (método pasivo), en la primera etapa se tiene un proceso unitario (pozo de sedimentación), el segundo emula un drenaje de piedra caliza anóxica y el último estanque de oxidación, un sistema sustentable que no requería entradas de energía o materiales refinados.
Rimarachin, P. & Huaranga, F. (2015)	Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales	Artículo Científico	Sciéndo Rev. Investigación UNT	El objetivo de su investigación, fue realizar el tratamiento de aguas de efluentes mineros-metalúrgicos aplicando método pasivo; mediante el uso de compost y humus además de la técnica de flujo estable, y método activo que consistió en usar membrana semipermeable artesanal y se siguió la técnica del ósmosis inversa. Finalmente

AUTOR(ES) / AÑO	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	FUENTE	RESUMEN / COMENTARIO
				<p>concluye que los métodos pasivos con humus y compost se logra menor eficiencia en la remoción de metales que los métodos activos, sin embargo, las combinaciones de ambos lograron maximizar los resultados.</p>

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación de tipo aplicada, tiene la principal característica de buscar soluciones ante una problemática mediante conocimientos ya adquiridos además su forma de analizar las situaciones reales y aplicar los descubrimientos para el desarrollo y mejoramiento de las estrategias, además permite innovar y crear nuevas alternativas (Vargas, Z., 2009, p.158-159). Así mismo dicha investigación abarca aspectos como el evaluar, comparar, interpretar, establecer precedentes y determinar casualidades, (Hernández, R., Fernández, C. y Baptista. P., 2014, p.7-25). El presente estudio tiene como principal objetivo realizar la búsqueda de información y antecedentes con respecto a las soluciones y/o tratamientos activos y pasivos realizados a los Drenajes Ácidos de Mina que continuamente vienen siendo una problemática ambiental y de salud pública.

El enfoque cualitativo de una investigación, también denominada naturalista, fenomenológica, interpretativa o etnográfica, puesto que se basa en una lógica y proceso inductivo. (Hernández, R., Fernández, C. y Baptista. P., 2014, p.7-9). Así mismo consiste en un proceso reflexivo puesto que opera cada etapa de un proyecto (Maxwell, 2019, p.17). Es por ello que la presente investigación nace de una literatura ya existente, como es la continua investigación de métodos para el tratamiento de DAM y utiliza la recolección y análisis de datos (los cuales se determinan como evidencias e información de situaciones o eventos sucedidos) para desarrollar las interrogantes de la investigación o manifestar nuevas.

En tanto, el diseño de investigación cualitativo narrativo de tópicos, la cual está enfocado en una temática, suceso o fenómeno (Salgado, A., 2007, p.73). Es decir que para el presente estudio se realizara una revisión bibliográfica, exploración y descripción de los métodos de tratamiento activos y pasivos aplicadas drenajes ácidos de mina, para la reducción o eliminación de los metales presentes.

3.2. Categorías, subcategoría y matriz de categorización apriorística

Uno de los procesos básicos en la a ten e importantes para una revisión sistemática es la distribución o división de los temas a tratar a partir de la organización y recopilación de la información. Es por ello que se tienen las categorías aquellas que denotan un tópico en sí mismo, y subcategorías que detallan los tópicos en micro aspectos. La construcción de categorías y subcategorías, de los puntos más importantes, surge de la formulación de problemas y objetivos de la investigación (Herrera, J., Guevara, G. y Munster. H., 2015, p.125).

En tal sentido, en el siguiente cuadro se presenta la matriz de categorización apriorística para el presente estudio.

Tabla Nº 4: Matriz de categorización apriorística

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CRITERIO 1	CRITERIO 2
Describir los tipos de métodos activos aplicados al tratamiento de drenajes ácidos de mina.	¿Cuáles son los tipos de métodos activos aplicado al tratamiento de drenajes ácidos de mina?	Métodos Activos	<ul style="list-style-type: none"> • Osmosis inversa • Neutralización • Precipitación química (utilizando compuestos químicos alcalinos). • Tecnologías de tratamiento electroquímico 	De acuerdo al grado de pH presente en los DAM.	De acuerdo al tipo de productos químicos a utilizar.
Describir los tipos de métodos pasivos aplicados al tratamiento de drenajes ácidos de mina.	¿Cuáles son los tipos de métodos pasivos aplicado al tratamiento de drenajes ácidos de mina?	Métodos Pasivos	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales artificiales • Barreras reactivas permeables • Tratamiento biológico • Inyección de sustrato orgánico • Camas de infiltración 	De acuerdo al tipo de material orgánico a utilizar.	De acuerdo al grado de concentración del metal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CRITERIO 1	CRITERIO 2
Identificar en qué medida la aplicación combinada de métodos activos y pasivos incluye en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.	¿En qué medida la aplicación combinada de métodos activos y pasivos influye en el tratamiento de drenajes ácidos de mina?	Métodos combinados	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos activos • Métodos pasivos 	De acuerdo al tipo de metal prevalente en los DAM.	De acuerdo al grado de acidez o concentración del metal presente.

3.3. Escenario de estudio

Se consideró como escenario de estudio a las industrias mineras, cuyas operaciones son consideradas más importantes para la estabilización económica de un país, sin embargo dentro de sus procesos se generan una serie de problemáticas que impactan al medio ambiente siendo una de ellas la generación de drenajes ácidos de mina, que se producen por la oxidación acelerada de los minerales sulfídicos (especialmente las piritas de hierro y otros minerales pesados piritas de metal) debido a su exposición al agua y al oxígeno (Rambabu, K., et al., 2020, p.2).

3.4. Participantes

Dentro del procedimiento, para el desarrollo de la investigación se realizó la indagación y recopilación de información resaltante, para contribuir a la solución de los objetivos propuestos, para ello se contó con una serie de herramientas o plataformas denominadas fuentes principales tales como: Science Direct, Springer Link, Dialnet Web of Science, ProQuest, Research Gate, Redalyc, Scielo, Google Scholar, donde se encontró los diversos artículos y estudios científicos que avalen y sustenten los descritos.

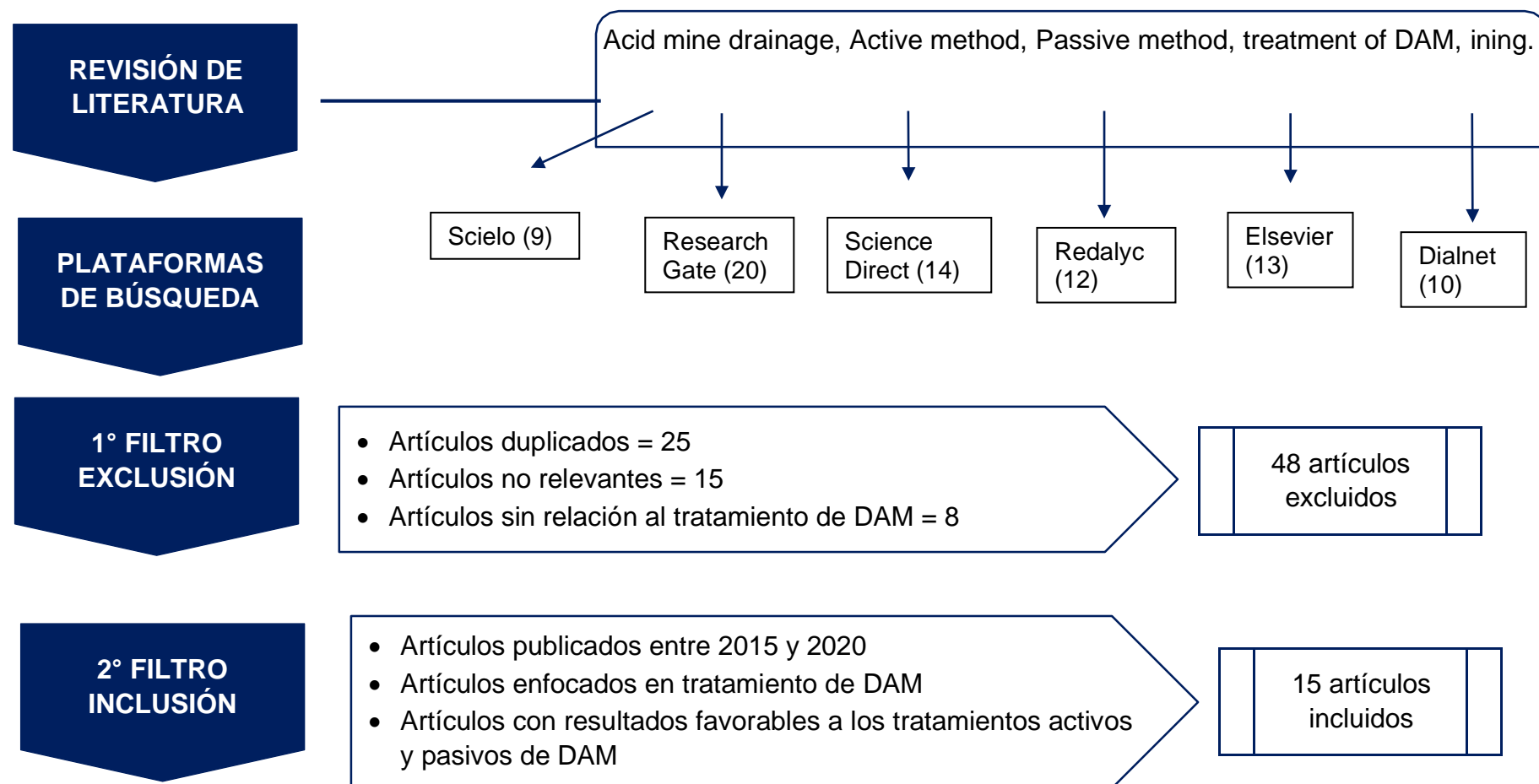
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de generación y recolección de información, son planteadas con el objetivo de responder a una situación o problemática en particular; y el tipo de información que se desea recopilar y generar están relacionadas a los tipos de técnicas e instrumentos a utilizar (Quintana, A. y Montgomery, W, 2006, p.60).

En tal sentido el presente estudio, planteo como instrumento principal para la recopilación de datos, una ficha de análisis, la se conforma por una serie de ítems que describieron los aspectos más importantes de una bibliografía.

3.6. Procedimientos

Diagrama 1: Procedimiento de información



3.7. Rigor Científico

Rigor científico, refiere a la aplicación rigurosa y disciplinada de criterios ante un tema de investigación, en el cual se involucra una serie de conocimientos e información, los criterios de rigurosidad científica, aplicados a la investigación cualitativa, permiten establecer lineamientos teóricos, metodológicos y procedimientos, con lo cual se busca las respuestas ante los problemas planteados (Quiroz, D., 2020, p.31).

Es por ello que Noreña, A., et al. (2012), plantea y considera 4 aspectos importantes, que rigen la calidad en el desarrollo de un estudio cualitativo, siendo estos (p.267-269):

1. La credibilidad o valor de verdad, un aspecto resaltante denominado “autenticidad”, puesto que pretende evidenciar los fenómenos o experiencias en su ámbito real, es decir aproximar los resultados de una investigación en relación al problema planteado, en otro aspecto, se tiene que mantener una relación de confianza en los descubrimientos o resultados obtenidos contrastados con la de otros autores o fuentes.
2. Transferencia o aplicabilidad, consiste en transferir los datos o resultados e hipótesis de la investigación hacia otros contextos similares al estudio realizado, teniendo en cuenta la descripción detallada del contexto donde se generan los resultados. Este aspecto podrá permitir realizar una comparación entre nuestro estudio y la de otros.
3. Consistencia o dependencia, o denominada replicabilidad, puesto que implica la estabilidad de los datos, es decir un proceso mediante el cual se rastrean dichos datos a través de la descripción de las condiciones en las que estos son generados, las fuentes y la verificación de los participantes, factores claves para su adecuada interpretación.

4. Confirmación o auditabilidad, un aspecto que implica garantizar la veracidad de los resultados obtenidos es decir refiere al proceso mediante el cual los resultados no son influenciados por motivación, interés e inclinación del propio investigador, es decir dichos resultados y/o datos obtenidos se determinarán confiables luego de aplicar las técnicas de triangulación, reflexión epistemológica y verificación.

En tal sentido, el rigor científico para el presente estudio se centra en mantener una postura de credibilidad (valor de verdad) y confirmación (auditabilidad) mediante las fuentes seleccionadas, es decir determinar estudios realizados en el contexto real sin que estos contengan opiniones propias o supuestos de autor, así mismo considerar las investigaciones que estén avaladas por plataformas oficiales.

Por otro lado, para determinar el aspecto de dependencia o consistencia se utilizar las palabras claves de búsqueda (métodos activos y pasivos para el tratamiento de drenajes ácidos de mina), obteniendo data verificable y apta para el estudio. Finalmente, el factor transferencia, estarán dados mediante la aplicación de los métodos activos y pasivos aplicados en los drenajes ácidos de mina, y mediante esta comprobación se puede verificar si las estrategias son aptas para eliminar, reducir o controlar los contaminantes presentes, sin distinción de contexto o realidades diferentes.

3.8. Método de análisis e información

De acuerdo a las categorías, subcategorías y criterios definidos, además de la recolección de información mediante el procedimiento descrito en el punto 3.6, se realizó el Análisis de data obtenida:

- Para la primera categoría “métodos activos”, se realizó la búsqueda de teorías específicas de los tipos de métodos tal como: Osmosis inversa, Neutralización, Precipitación química (utilizando compuestos químicos alcalinos), Tecnologías de tratamiento electroquímico, los cuales serán

evaluados siguiendo 2 criterios; de acuerdo al grado de pH presente en los DAM y al tipo de productos químicos a utilizar.

- Para la segunda categoría “métodos pasivos”, se realizó la búsqueda de teorías específicas de los tipos de métodos tal como: Humedales artificiales, Barreras reactivas permeables, Tratamiento biológico, inyección de sustrato orgánico, camas de infiltración, los cuales serán evaluados siguiendo 2 criterios; de acuerdo al tipo de material orgánico a utilizar y al grado de concentración del metal.
- Para la tercera categoría “métodos combinados”, en la cual la revisión bibliográfica se centró en la aplicación de métodos activos y pasivos, los cuales serán evaluados siguiendo 2 criterios; de acuerdo al tipo de metal prevalente en los DAM y al grado de acidez o concentración del metal presente.

3.9. Aspectos éticos

La presente investigación está sujeta a principios éticos, es decir mantiene un compromiso de respeto a la información obtenida de otros trabajos, investigaciones, artículos, etc., los cuales al tomarse como referencias fueron citados correctamente según las normas ISO 690-2, del mismo modo se respeta el Código de Ética de la Universidad Cesar Vallejo, la cual implica principios de responsabilidad, honestidad y bienestar de los investigadores ante la propiedad intelectual.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la revisión de aproximadamente 63 estudios, de los cuales 15 fueron incluidos para la presente investigación debido que fueron más relevantes y se encontraban dentro de las expectativas.

Ahora bien, dentro de los aspectos más relevantes en la aplicación de métodos activos y pasivos para el tratamiento de drenajes ácidos de mina, se encontraron los siguientes:

Tabla Nº 5: Aspectos relevantes de los tratamientos activos y pasivos para DAM

Aspectos relevantes		Autor
Tratamientos activos	Tratamientos pasivos	
Requiere de insumos químicos.	No requiere de insumos químicos	Jaramillo, A. y Contreras, M. (2019)
Requiere de un tratamiento previo de oxidación y ajuste de pH.	No requiere tratamiento previo.	
Requieren una supervisión constante.	Requieren un mínimo de intervención humana	
Tiene costos elevados en su funcionamiento	Su implementación es bajo costo.	
Utilizan agentes neutralizantes para elevar pH	-----	Radmilla, M., et al. (2020)
Inmoviliza los contaminantes metálicos mediante la generación de suficiente alcalinidad.	Requieren pocos recursos y son ventajosos en costos operacionales	Rambabu, K., et al. (2020)
Tiene mejor control de los procesos y permite modificar algunas funciones en los sistemas.	Los sistemas de tratamiento biológico pasivo aprovechan de forma natural los procesos geoquímicos y la actividad	

Aspectos relevantes		Autor
Tratamientos activos	Tratamientos pasivos	
	microbiana que se producen para mejorando la calidad del agua de los afluentes.	
Requiere más procesos unitarios. Utilizan sustancias alcalinas para aumentar pH, contrarrestar acides y precipitar los metales.	Los procesos son factibles y sin complicaciones.	Seervi, V., et al. (2017)
----	Los sistemas pasivos son de bajo mantenimiento aplicados para terrenos mineros abandonados y en proyectos de restauración. El mantenimiento de los sistemas pasivos es necesario a largo plazo, pero no es tan frecuente como el de los sistemas de tratamiento activo.	Skousen, J., Ziemkiewicz, P. y McDonald, L. (2018)
Las ventajas de este método no son sólo su uso para pronosticar los requerimientos de agentes neutralizadores y la generación de lodo, sino que permite estimar si se requiere un almacenamiento adicional y los costos de tratamiento del agua. Además, este enfoque podría ser útil para predecir los costos de la recuperación de la mina mediante	Los tratamientos pasivos son generalmente aplicados a aguas de mina ligeramente contaminadas, lo que incluyen generalmente: la sorción, drenajes de caliza, pozos de desviación, aireación en cascada y estanque de decantación.	Rakotonimaro, T., et al. (2017)

Aspectos relevantes		Autor
Tratamientos activos	Tratamientos pasivos	
la integración de la eventual generación de lodos.		
Las aguas de las minas pueden tratarse mediante dos enfoques genéricos, sistemas de tratamiento activo o pasivo, en los cuales la acidez y los metales son removidos de las soluciones usando diferentes (bio)químicos o reacciones que conducen a la generación de un residuo sólido (generalmente como lodo rico en metales)		Macías, F., et al. (2017)

Fuente: Elaboración propia

Tal como se puede observar ambos tipos de tratamientos tienen diversas formas de operación, no obstante, para Radmilla, M., et al. (2020), las técnicas ambientalmente efectivas disponibles para el tratamiento de la DMA son la neutralización interna, métodos, coberturas de agua y procesos de degradación biológica/natural (tratamientos pasivos), del mismo modo, Rimarachin, P. & Huaranga, F. (2015), afirma que los tratamientos pasivos obtienen mayor eficiencia de remoción de los metales aunque esto implica el uso de mayor tiempo, en comparación con los métodos activos, dichas afirmaciones son refutadas por Jaramillo, A. y Contreras, M. (2019) quienes afirman que los tratamientos pasivos a pesar de ser factibles económicamente, implican inconvenientes como la necesidad de tierra y tiempo, en comparación con los tratamientos activos que ofrecen una mayor previsibilidad operacional y un tiempo de tratamiento más rápido. Es por ello que Rodríguez, M., et al. (2019) corrobora que son los métodos activos los más empleados.

Del mismo modo, Rambabu, K., et al. (2020), sostiene que los tratamientos activos demuestran mayor impacto que los tratamientos pasivos en cuanto al desarrollo de los ciclos de vida.

Por otro lado, Rambabu, K., et al. (2020), refiere que existen una serie de parámetros como pH, la temperatura, la salinidad, concentración de metal, que desempeñan un papel importante para la eficiencia del método pasivo. Mientras que Sánchez, J. & Ferreira, J. (2012), incluye como parámetros importantes a considerar a DQO, DBO, grado de acidez y carga química.

Por otro lado, diversos autores han coincidido en la aplicación de diferentes tipos de tratamientos activos y pasivos, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 6: tipos de métodos activos para tratamiento de DAM

Tratamientos activos	Descripción	Autor
Actividad de las Bacterias Reductoras de Sulfato (ASBR)	Tratamiento generador de alcalinidad, estable y con alto contenido de sulfato. Elimina alrededor de 99% de los metales con pH entre 6.5 y 7.4, presentes en los DAM.	Castro, E., et al. (2017)
Neutralización	Proceso mediante el cual se ajusta el pH y precipitación de lodos.	Radmilla, M., et al. (2020)
Adsorción	Utiliza algún agente como adsorbente para eliminar los iones metálicos.	
	Se basa en el uso de adsorbentes, cuya principal característica es tener una estructura porosa.	Rodríguez, M., et al. (2019)
Precipitación selectiva	se basa en las diferencias de solubilidad entre los compuestos metálicos, mediante el uso de reactivos, como agentes para la precipitación de metales siendo estos hidróxidos de sodio o sulfato de sodio	Rodríguez, M., et al. (2019)
Osmosis inversa	se aplica presión al agua AMD (lado concentrado) y se fuerza a través de la	Seervi, V., et al. (2017)

Tratamientos activos	Descripción	Autor
	membrana hacia un lado más diluido. Esta membrana semi- permeable sólo permite el paso de disolvente (agua) y no soluciones	

Fuente: Elaboración propia

Castro, E., et al. (2017), afirma que los tratamientos SRB, eliminan el sulfato y metales pesados generando corrientes no toxicas. Del mismo modo, Rimarachin, P. & Huaranga, F. (2015), reafirma que los métodos activos logran remover más eficientemente los metales, en comparación con los métodos pasivos.

Radmilla, M., et al. (2020), afirma que la combinación de dos métodos puede contribuir a la purificación de los DAM, así mismo al reciclaje y recuperación de ciertos metales como el Cobre. Lo cual coincide con Rimarachin, P. & Huaranga, F. (2015), quienes confirman que la combinación de ambos métodos puede lograr maximizar los resultados de eficiencia, así mismo Zipper, C., Skousen, J. y Jage,

C. (2018) quienes mencionan que los tratamientos pasivos pueden incluirse como pretratamientos para los sistemas activos.

Tabla Nº 7: tipos de métodos pasivos para tratamiento de DAM

Tratamientos pasivos	Descripción	Autor
Humedales	Implica procesos químicos, físicos y biológicos.	Jaramillo, A. y Contreras, M. (2019)
	Los humedales aeróbicos apuntan a las aguas alcalinas netas; mientras que el humedal anaeróbico implica la inmersión	Rambabu, K., et al. (2020)

Tratamientos pasivos	Descripción	Autor
	de aguas orgánicas ricas sustratos, piedra caliza e inóculo SRB para mejorar las aguas acidometálicas, permitiendo la reducción de hierro y sulfato compuestos que se logren.	
Humedales artificiales	Se caracterizan por suelos saturados en agua o sedimentos de lagunas someras con vegetación adaptada a condiciones reductoras en la zona de sus rizomas.	Sánchez, J. & Ferreira, J. (2012)
Inyección de sustrato orgánico	Remediación in situ es la inyección de sustratos orgánicos.	Rambabu, K., et al. (2020)
Fitorremediación	Sugiere el uso in situ de plantas para la tratamiento o eliminación de la contaminación, mediante dos mecanismos la fitoextracción donde las plantas absorben el metal y la fitoestabilización que inmoviliza los metales.	Rambabu, K., et al. (2020)
Camas de infiltración	Consiste en una serie de zanjas llenas de material orgánico, que promover la proliferación y la actividad de la SRB	Rambabu, K., et al. (2020)
Barreras reactivas permeables (PRB)	Remediación in situ técnica que instala un medio reactivo perpendicular a la pluma de un cuerpo de agua contaminado Debido al gradiente hidráulico natural, AMD migrará	Rambabu, K., et al. (2020)

Tratamientos pasivos	Descripción	Autor
	pasivamente a través de la barrera reactiva, experimentando neutralización y precipitación de metales.	
	Instalación de un cierto espesor de material permeable en el traspaso del contaminante.	Sánchez, J. & Ferreira, J. (2012)
Reactores pasivos bioquímicos	Los reactores pasivos bioquímicos son columnas rellenas de mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tienen ventajas como bajos costos, uso de desechos reciclados.	Vásquez, Y., et al. (2016)
<ul style="list-style-type: none"> - Reactor Bioquímico pasivo Anóxico Drenaje de caliza - Sustrato alcalino disperso - Aireación en cascada 	El tratamiento pasivo es un enfoque reconocido para la restauración de minerías cerradas o abandonadas porque permite la reutilización de material residual y requiere poco mantenimiento y energía.	Jouini, M., Neculita, C. y Mostafa, T. (2020)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo obtenido en la tabla anterior, podemos observar que los diferentes tipos de métodos pasivos contribuyen al fin de minimizar o eliminar los contaminantes de los DAM, sin alterar los recursos o el ambiente, sin embargo, Jaramillo, A. y Contreras, M. (2019), indica que los humedales son considerados los métodos pasivos más efectivos y atractivos para el tratamiento de DAM puesto que es un sistema completo que implica procesos físicos, químicos y biológicos produciendo sedimentación, filtración, absorción, degradación biológica, fotosíntesis, entre otros que conllevan a eliminar cualquier metal contaminante. Esta última afirmación es refutada por Rambabu, K., et al. (2020), ya que él considera que los

humedales tienen por objeto la eliminación eficiente de los contaminantes basados en el nitrógeno, así mismo afirma que la separación de sulfuros mediante precipitación es una de los procesos más pronunciados en las técnicas activas.

Así mismo, Seervi, V., et al. (2017) indica que las técnicas de tratamiento pasivo son utilizadas generalmente para el post-cierre de las minas puesto que existe menos acidez y bajas tasas de flujo. No obstante, Skousen, J., et al. (2016), refiere que los sistemas pasivos pueden proporcionar un tratamiento a largo plazo, eficiente y eficaz para muchas fuentes de drenaje ácido de minas, es decir en cualquier estado ya sea iniciando las actividades o al termino de ellas, aunque solo implique pequeñas a moderadas descargas. Así mismo Zipper, C., Skousen, J. y Jage, C. (2018), afirma que los sistemas de tratamiento pasivo son eficaces para renovar las aguas con bajo pH, alto acidez, y altas concentraciones de metales solubles en ácido.

V. CONCLUSIONES

- Los aspectos más relevantes en la aplicación de métodos activos son que requieren de insumos químicos, con previo tratamiento de oxidación y ajuste de pH, una supervisión constante en el tratamiento y su alto costo de implementación hace que sea más efectivo, mientras que los métodos pasivos no implican el uso de insumos químicos, ni tratamiento previo, además requiere de una mínima intervención humana, su bajo costo puede hacerlo menos efectivo. Así mismo las características de sitio, condiciones climáticas, tipo de minería y sobretodo las características del efluente a tratar, son esenciales para la selección, diseño y éxito de un tratamiento.
- Los tipos de métodos activos tales como actividades con bacterias reductoras de sulfatos, neutralización, adsorción, precipitación selectiva y osmosis inversa, constituyen sistemas con altos presupuestos, menor tiempo de aplicación, pero con mayor seguridad de eficiencia de remoción del contaminante, no obstante, este tipo de tratamientos implica obtener residuos de otro tipo.
- Los tipos de métodos pasivos en el cual se utilizan recursos naturales como soporte principal para el tratamiento están dados en base a humedales, inyección de sustrato orgánico, fitorremediación, barreras reactivas permeables y reactores pasivos bioquímicos, los cuales son sistemas ecoeficientes en el tratamiento de residuos de mina, puesto que no implican alteraciones el ambiente ni residuos peligrosos, aunque puede que conlleven alterar ciertos ecosistemas.
- La aplicación combinada de métodos activos y pasivos para el tratamiento de drenajes ácidos de mina, puede conllevar a un resultado con mayor eficiencia de remoción, eliminación o reducción del contaminante.

VI. RECOMENDACIONES

En función a los objetivos y la problemática expuesta en la presente investigación, se recomienda lo siguiente:

- Realizar mayor investigación en función a las nuevas tecnologías de métodos activos y pasivos aplicados al tratamiento de drenajes ácidos de mina.
- Revisar las literaturas existentes hace 5, 10 y 15 años para realizar la comparación en la evolución de tratamientos de drenajes ácidos de mina.
- En base a las bibliografías revisadas, proponer nuevos métodos combinados para el tratamiento de drenajes ácidos de mina.
- Continuar con las investigaciones de métodos activos y pasivos para tratamiento de drenajes ácidos de mina, los cuales deben ser implementados para evitar las constantes contaminaciones.

VII. REFERENCIAS

- Aduvire, O. Drenaje ácido de mina: Generación y tratamiento. Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente, Madrid, 2006, 140 pp. Disponible en: http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf
- Andrade, V. Evaluación del Potencial de Generación de Sulfuro por la Acción de las Bacterias Sulfato Reductoras y sus Posibles Aplicaciones en el Tratamiento de los Drenajes Ácidos de Mina. Tesis de pregrado, Universidad san francisco de Quito, Ecuador, 2010, 148 pp. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/743/1/95327.pdf>
- Armendáriz, E. Áreas naturales protegidas y minería en México: perspectiva y recomendaciones. Tesis de postgrado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., México, 2014, 179 pp. Disponible en: https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/50/1/armendariz_e.pdf
- Castro, E., et al. Acid mine drainage treatment and metal removal based on a biological sulfate-reducing process. Brazilian Journal of Chemical Engineering [En línea], 2018, 35(2): 543-552 pp. [Fecha de consulta: 10 de noviembre del 2020]. ISSN: 1678-4383 Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/bjce/v35n2/1678-4383-bjce-35-02-0543.pdf>
- Hernández R., et al. Metodología de la investigación [en línea], 5ta ed., p.473. 2010 [fecha de consulta: 3 de noviembre del 2020]. ISBN 978-607-15-0291-9 Disponible en: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

- Huiza, A. & Orellana, W. Remoción de metales del drenaje ácido de mina mediante lecho pulsado de caliza del pasivo ambiental minero Apu Campanayoc I Huancavelica. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, 2015, 113 pp.
- IBÁÑEZ, P. Modelamiento del efecto del drenaje ácido de un depósito epitermal Au – Cu sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos cercanos. Tesis de post grado, Universidad Nacional de la Pampa, Santa Rosa, Argentina, 2015, 108 pp. Disponible en: http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tespo/r_ibamod290.pdf
- Jaramillo, A. y Contreras, M. Tratamiento del drenaje ácido de minas de carbón mediante humedales artificiales – caso de estudio quebrada El Chocho en el corregimiento de Montebello, Cali. Trabajo de investigación, Universidad Autónoma del Occidente, Santiago de Cali, 2019, 116 pp. Disponible en. <http://red.uao.edu.co:8080/bitstream/10614/11980/5/T08976.pdf>
- Jouini, M., Neculita, C. y Mostafa, T. Environmental behavior of metal-rich residues from the passive treatment of acid mine drainage. Science of The Total Environment. 2020, 712(1): 136-541 pp. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136541>
- López, S., et al. Coagulantes Vegetales como alternativa para el tratamiento de aguas residuales en México. JONNPR, 2017, [en línea] 2(12): 687 - 694 pp. DOI: 10.19230/jonnpr.1650
- Macías, F., et al. Management strategies and valorization for waste sludge from active treatment of extremely metal-polluted acid mine drainage: A contribution for sustainable mining. Journal of Cleaner Production, 2017, 141, 1057–1066 pp. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.181

- Maxwell, J. Diseño de investigación cualitativa. [en línea] 1er ed. setiembre 2019. Barcelona. Editorial GEDISA S.A. Cap 2. El modelo de diseño. [fecha de consulta: 3 de noviembre del 2020].
 Disponible en: ISBN 978-84-17835-05-7
<https://books.google.com.pe/books?id=ZLewDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=dise%C3%B1o+cualitativo+libro&hl=es419&sca=X&ved=0ahUKEwiBnMKm5uPpAhUVGLkGHZivDUUsQ6AEIMDAB#v=onepage&q=dise%C3%B1o%20cualitativo%20libro&f=false>
- Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM aprueba Estándares de Calidad Ambiental para Agua, 2017.
- Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM- Aprueba Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicos. 2010.
- Noreña, A., et al. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. Dialnet, 2012, 12(3): 263-274. [Fecha de consulta: 04 de noviembre del 2020]. ISSN: 1657-5997
 Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4322420>
- Organización Mundial de la Salud, OMS. Progresos en materia de saneamiento y agua potable: informe de actualización 2015 y evaluación del ODM [en línea]. [Fecha de consulta: 27 de octubre del 2020]
 Disponible en: <https://goo.gl/ifVxKo>
- Pérez, N., Schwarz, A. y Urrutia, H. Tratamiento del drenaje ácido de minas: estudio de reducción de sulfato en mezclas orgánicas. Tecnología y Ciencias del Agua, [En línea], 2016, 8(1); 53-64 pp. [Fecha de consulta: 27 de octubre del 2020]. ISSN: 0187-8336
 Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n1/2007-2422-tca-8-01-00053.pdf>

- Pulcha, J. & Valencia, M. Evaluación de la degradación de contaminantes ecotóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. 2019.
- Quintana, A. y Montgomery, W. Metodología de Investigación Científica Cualitativa. Psicología: Tópicos de actualidad. Lima: UNMSM, 2006, 49 – 84 pp. [Fecha de consulta: 05 de noviembre del 2020].
Disponible en: <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/267/3634305-Metodologia-de-Investigacion-Cualitativa-A-Quintana.pdf>
- Quiroz, D. Gestión del tiempo, rigor científico y estrés académico en estudiantes modalidad semipresencial, décimo semestre de universidad privada, Pueblo Libre. Tesis de post grado, Universidad Cesar Vallejo, 2020, 166pp.
- Rakotonimaro, T., et al. Recovery and reuse of sludge from active and passive treatment of mine drainage-impacted waters: a review. Environ Sci Pollut Res, 2017, 24(1): 73–91 pp.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7733-7>
- Radmilla, M., et al. New Approach of Metals Removal from Acid Mine Drainage. Applied Sciences [En línea], 2020, 10(17): 16 pp. [Fecha de consulta: 31 de octubre del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/343928678_New_Approach_of_Metals_Removal_from_Acid_Mine_Drainage
- Rambabu, K., et al. Biological remediation of acid mine drainage: Review of past trends and current Outlook. / Environmental Science and Ecotechnology [En línea], 2020, 2(1): 14 pp. [Fecha de consulta: 31 de octubre del 2020]. Disponible en: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2666498420300168?token=433CCCC88E573563D8857C371C083300B700EED7D41D82302A7B08419B76A1_A6472A221FAB4BAEA520BD0D1FBBF2D6339

- Rimarachin, P. & Huaranga, F. Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. Sciendo. [en línea], 2015, 18(2); 20-29 pp. [Fecha de consulta: 27 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/1352>
- Reyes, Y., et al. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Colombia, 2016. [En línea], 16 (2): pp. 66-77. [Fecha de consulta: 27 de octubre del 2020]. ISSN: 2422-4324.
- Rodriguez, M., et al. Remediation of acid mine drainage. Environmental Chemistry Letters, [En línea], 2019, 17(1): 1529-1538 pp. [Fecha de consulta: 10 de noviembre del 2020]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00894-w>
- Salgado, A., Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. Liberabit. [en línea], 2007 p.7. [fecha de consulta: 2 de noviembre del 2020]
Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/liber/v13n13/a09v13n13.pdf>
ISSN 1729-4827
- Sánchez, J. y Ferreira, J. Drenajes ácidos de mina: Alternativas de tratamiento, [En línea], 2012, 20-33pp. [Fecha de consulta: 23 de octubre del 2020].
Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/n1/n1_a03.pdf
- Schwarz, A., et al. Evaluation of Dispersed Alkaline Substrate and Diffusive Exchange System Technologies for the Passive Treatment of Copper Mining Acid Drainage. Water, [En línea] 2020, 12(3): 854 pp [Fecha de consulta: 31 de octubre del 2020].
Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w12030854>

- Seervi, V., et al. Overview of Active and Passive Systems for Treating Acid Mine Drainage. IARJSET [En línea], 2017, 4(5): 7pp. [Fecha de consulta: 31 de octubre del 2020].
Disponible en: <http://www.iarjset.com/upload/2017/may-17/IARJSET%2025.pdf>
- Skousen, J., et al. Review of Passive Systems for Acid Mine Drainage Treatment. Mine Water Environ [en línea]. 2016, 36(1): 22pp. [Fecha de consulta: 31 de octubre del 2020].
Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/308702861>
- Skousen, J., Ziemkiewicz, P. y McDonald, L. Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies. The Extractive Industries and Society, 2019, 6(1): 241-249 pp.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.09.008>
- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. SNMPE-Education. [En línea] [Fecha de consulta: 23 de octubre del 2020].
Disponible en: <https://www.snmpe.org.pe/>
- Strosnider, W., et al. Análisis del co-tratamiento pasivo de aguas residuales municipales y drenaje ácido de minas en Cerro Rico de Potosí, Bolivia. Avances en Ciencias e Ingeniería [en línea]. Bolivia, 2015, 6(2), 23-37 pp. [fecha de Consulta 25 de octubre de 2020]. ISSN: 0718-8706
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323639772003>
- Vasquez, Y., et al. Biochemical passive reactors for treatment of acid mine drainage: Effect of hydraulic retention time on changes in efficiency, composition of reactive mixture, and microbial activity. Elsevier, Chemosphere, 2016, 153(1), 244–253 pp.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.052>

- Vargas Z., La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Redalyc.org, [en línea] 33, 2009, p. 159 [fecha de consulta: 2 de noviembre del 2020]. ISSN:0379-7082
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>
- Zevallos, J. Estabilización del drenaje ácido de mina (DAM) de la empresa Paraíso Perdido Apata. Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2016, 112 pp.
- Zipper, C., Skousen, J. y Jage, C. Passive Treatment of Acid-Mine Drainage. Virginia Cooperative Extension, [en línea], 2018, 14 pp. [fecha de Consulta 25 de octubre de 2020]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/242699537_Passive_Treatment_of_Acid-Mine_Drainage

ANEXO N° 1:

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
---	---------------------------------------

TÍTULO:

DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PÁGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN	LUGAR DE PUBLICACIÓN

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

CÓDIGO (DOI) (ISBN):	
PALABRAS CLAVES:	
TIPOS DE MÉTODOS:	MÉTODO ACTIVO:
	MÉTODO PASIVO:
OBJETIVOS:	
ASPECTOS DE LOS MÉTODOS EN EL TRATAMIENTO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA:	POSITIVOS:
	NEGATIVOS:
RESULTADOS:	
CONCLUSIONES:	

Elaboración propia



Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores

Yo (Nosotros), HORNA COLLANTES ODALIS JAMALLY y GAMIÓN ABARCA JORGE LUIS estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulado: "REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LOS MÉTODOS ACTIVOS Y PASIVOS EN EL TRATAMIENTO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA", es de mi (nuestra) autoría, por lo tanto, declaro (declaramos) que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He (Hemos) mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo (asumimos) la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
HORNA COLLANTES ODALIS JAMALLY DNI: 46439537 ORCID: 0000-0003-2094-161X	
GAMIÓN ABARCA JORGE LUIS DNI: 41591435 ORCID: 0000-0002 0598-5895	