

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS:

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC APLICANDO EL REACTIVO

AR 1849 EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS

ÁGUILAS

PRESENTADA POR:

HIVAR JHASMANI CENTENO PARRILLO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



6.32%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 17 MAR 2025, 6:04 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
1.35%

● CHANGED TEXT
4.96%

Report #25284601

HIVAR JHASMANI CENTENO PARRILLO // EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC APLICANDO EL REACTIVO AR 1849 EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS RESUMEN La investigación surge debido a que la unidad minera Las Águilas vierte sin un adecuado tratamiento, el drenaje ácido de minas (DAM) de manera constante hacia el cuerpo receptor (río Ocuvirí), contaminando las aguas superficiales - subterráneas y perjudicando la vida acuática y a la ecología de su entorno, por ende se planteó el objetivo general de determinar la eficiencia de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas. Con procedimiento metodológico mediante el muestreo de agua residual del efluente minero, siguiendo el protocolo de monitoreo de calidad de efluentes y aguas superficiales en las actividades minero-metalúrgicas (2011), para la determinación de la concentración del cadmio, zinc, y seguidamente realizar las pruebas experimentales aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849; 0.1 ml; 0.2 ml; 0.3 ml; 0.4 ml y 0.5 ml, para determinar la dosis óptima del reactivo, donde ocurra la mejor remoción del cadmio y zinc, y finalmente determinar su porcentaje de remoción. En los resultados se halló una concentración inicial de 0.69 mg/L para cadmio; 2.89 mg/L para zinc, superando el LMP; con respecto al desarrollo experimental se encontró una dosis óptima de 0.5 ml del reactivo AR 1849 donde ocurre la mejor remoción del

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC APLICANDO EL REACTIVO
AR 1849 EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS
ÁGUILAS**

PRESENTADA POR:


HIVAR JHASMANI CENTENO PARRILLO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

PRIMER MIEMBRO

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

Área Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 20 de marzo del 2025

DEDICATORIA

A Dios por permitirme alcanzar este momento tan significativo en mi vida, por las victorias y los desafíos que me han enseñado a valorar cada experiencia cada día más.

Dedico este proyecto con profundo cariño a mis padres, Nolberto Centeno y Santusa Parrillo, quienes me han guiado con principios, valores y amor, enseñándome a enfrentar con fortaleza las adversidades.

A mi esposa, Evelyn Ramos, y a mis hijos, Dylan y Anapaula, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración, demostrando que nunca es tarde para comenzar. Su apoyo incondicional me ha acompañado en cada etapa de este camino.

Asimismo, a toda mi familia, por estar siempre presente, ofreciéndome su respaldo y compartiendo conmigo tanto los momentos de alegría como los de dificultad.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios por su constante resguardo a lo largo de mi camino y por brindarme la fortaleza necesaria para superar los desafíos y dificultades de la vida.

A la Universidad Privada San Carlos, a la Facultad de Ingeniería Ambiental y a su equipo de docentes, por la invaluable formación académica que me han brindado.

A la empresa CIEMSA UM Las Águilas, al Ing. Azbel Yauri Tamara, Superintendente General; al Ing. Víctor Fort Carranza, Gerente de Medio Ambiente; y al Ing. Revelino Machaca Huayta, Superintendente SSOMA, por confiar en mí persona y brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente.

A la M.Sc. Elvira Anani Durand Goyzueta, asesora de tesis, por su guía y apoyo fundamental en la realización de este trabajo.

Finalmente, mi gratitud a todas las personas que, de modo directo o indirecto, contribuyeron a la ejecución de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. ANTECEDENTES	15
1.3.1. A NIVEL INTERNACIONAL	15
1.3.2. A NIVEL NACIONAL	18
1.3.3. A NIVEL REGIONAL	22
1.4. OBJETIVOS	23
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	23
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	24
---------------------------------------	-----------

2.1.1. DRENAJE ÁCIDO DE MINA	24
2.1.2. METALES PESADOS	28
2.1.3. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DEL DAM	30
2.1.4. REACTIVO AR 1849	34
2.2. MARCO CONCEPTUAL	35
2.3. MARCO NORMATIVO	36
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	38
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	38
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	38
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	39
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	39
3.2.1. POBLACIÓN	39
3.2.2. MUESTRA	40
3.3. METODOS Y TECNICAS	40
3.3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	40
3.3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	40
3.3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	40
3.3.4. MÉTODO	40
3.3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.3.6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	41
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	45
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	46
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DEL CADMIO Y ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS	47

4.2. DETERMINAR DOSIS ÓPTIMA DEL REACTIVO AR 1849, DONDE OCURRA LA MEJOR REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS	49
4.2.1. REMOCIÓN DEL CADMIO	49
4.2.2. REMOCIÓN DEL ZINC	51
4.3. DETERMINAR EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC APLICANDO EL REACTIVO AR 1849 EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS	53
4.3.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL CADMIO	53
4.3.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL ZINC	55
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	57
4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS	57
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Clasificación de aguas residuales de mina en función al pH	25
Tabla 02: Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.	26
Tabla 03: Operacionalización de variables	45
Tabla 04: Concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales generada por la unidad minera las Águilas	47
Tabla 05: Concentración final del cadmio a diferentes dosis del reactivo AR 1849	50
Tabla 06: Concentración final del zinc a diferentes dosis del reactivo AR 1849	52
Tabla 07: Porcentaje de remoción del cadmio aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849	54
Tabla 08: Porcentaje de remoción del zinc aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849	56
Tabla 09: Análisis de varianza (ANOVA) para la dosis óptima del reactivo AR 1849	58
Tabla 10: Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la concentración final de cadmio del reactivo AR 1849.	59
Tabla 11: Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la concentración final de zinc del reactivo AR 1849.	59
Tabla 12: Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Curvas de acidez de agua de mina	24
Figura 02: Etapas en la generación del DAM	28
Figura 03: Ubicación de la zona en estudio	39
Figura 04: Concentración del cadmio y zinc en las aguas residuales generada por la unidad minera las Águilas	48
Figura 05: Concentración final del cadmio a diferentes dosis del reactivo AR 1849	51
Figura 06: Concentración final del zinc a diferentes dosis del reactivo AR 1849	53
Figura 07: Porcentaje de remoción del cadmio aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849	55
Figura 08: Porcentaje de remoción del zinc aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849	57
Figura 09: Sistema de vertimiento de agua residual de la unidad minera las Águilas.	86
Figura 10: Obtención de la muestra de agua residual	87
Figura 11: Preparación del reactivo AR 1849	87
Figura 12: Materiales y equipos a requerir para la experimentación	88
Figura 13: Ensayos de prueba de jarras con diferentes dosis del reactivo AR 1845.	88
Figura 14: Pruebas experimentales de sedimentación	89
Figura 15: Pruebas de clarificación	89
Figura 16: Cinética de sedimentación.	90

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC APLICANDO EL REACTIVO AR 1849 EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS	71
Anexo 02: Formato de registro de monitoreo	72
Anexo 03: Certificado de análisis inicial de aguas residuales	74
Anexo 04: Certificado de análisis final del tratamiento de aguas residuales	76
Anexo 05: Hoja de seguridad reactivo AR 1849	78
Anexo 06: Hoja de seguridad policloruro de aluminio	82
Anexo 07: Panel fotográfico	86

RESUMEN

La investigación surge debido a que la unidad minera Las Águilas vierte sin un adecuado tratamiento, el drenaje ácido de minas (DAM) de manera constante hacia el cuerpo receptor (río Chaquilla), contaminando las aguas superficiales - subterráneas y perjudicando la vida acuática y a la ecología de su entorno, por ende se planteó el objetivo general de determinar la eficiencia de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas. Con procedimiento metodológico mediante el muestreo de agua residual del efluente minero, siguiendo el protocolo de monitoreo de calidad de efluentes y aguas superficiales en las actividades minero-metalúrgicas (2011), para la determinación de la concentración del cadmio, zinc, y seguidamente realizar las pruebas experimentales aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849; 0.1 ml; 0.2 ml; 0.3 ml; 0.4 ml y 0.5 ml, para determinar la dosis óptima del reactivo, donde ocurra la mejor remoción del cadmio y zinc, y finalmente determinar su porcentaje de remoción. En los resultados se halló una concentración inicial de 0.69 mg/L para cadmio; 2.89 mg/L para zinc, superando el LMP; con respecto al desarrollo experimental se encontró una dosis óptima de 0.5 ml del reactivo AR 1849 donde ocurre la mejor remoción del cadmio y zinc, con una concentración final alcanzada de 0.03 mg/L y 0.60 mg/L generando una remoción del 95.65 % y 97.58 % respectivamente. Concluyendo que el reactivo AR 1849 logra remover eficientemente el cadmio y zinc de las aguas residuales provenientes de la unidad minera Las Águilas, cumpliendo los límites máximos permisibles (LMP) indicados por la normativa vigente, específicamente el D.S. N.º 010-2010-MINAM.

Palabras clave: Cadmio, Eficiencia de remoción, Efluentes mineros, Reactivo AR 1849, Zinc.

ABSTRACT

The research arose because the Las Águilas mining unit constantly discharges acid mine drainage (AMD) into the receiving body (Ocuvirí River) without adequate treatment, contaminating surface and groundwater and harming aquatic life and the ecology of its surroundings. Therefore, the general objective was to determine the removal efficiency of cadmium and zinc by applying the reagent AR 1849 in the wastewater of the Las Águilas mining unit. With methodological procedure by sampling wastewater from the mining effluent, following the protocol for monitoring the quality of effluents and surface water in mining-metallurgical activities (2011), to determine the concentration of cadmium, zinc, and then perform experimental tests by applying different doses of the reagent AR 1849; 0.1 ml; 0.2 ml; 0.3 ml; 0.4 ml and 0.5 ml, to determine the optimum dose of the reagent, where the best removal of cadmium and zinc occurs, and finally determine its removal percentage. The results showed an initial concentration of 0.69 mg/L for cadmium; 2.89 mg/L for zinc, exceeding the LMP; with respect to the experimental development, an optimum dose of 0.5 ml of AR 1849 reagent was found where the best removal of cadmium and zinc occurs, with a final concentration reached of 0.03 mg/L and 0.60 mg/L, generating a removal of 95.65 % and 97.58 %, respectively. It is concluded that the AR 1849 reagent efficiently removes cadmium and zinc from the wastewater from the Las Águilas mining unit, complying with the maximum permissible limits (MPL) indicated by current regulations, specifically D.S. No. 010-2010-MINAM.

Key words: Cadmium, Removal efficiency, Mining effluents, AR 1849 reagent, Zinc.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el sector minero ha contribuido de manera importante al crecimiento y desarrollo económico del Perú. Sin embargo, la minería tiene consecuencias tanto positivas como negativas, ya que destruye la ecología circundante al contaminar el aire, el suelo, el agua y quizás otras fuentes de vida (Trujillo, 2022); uno de los primordiales contribuyentes a la contaminación de las aguas superficiales, así como subterráneas son los efluentes ácidos de las actividades mineras de carbón y metales en desuso; este problema debe evitarse en la medida de lo posible y manejarse mejor cuando surja, ya que sus efectos pueden persistir durante décadas después de que finalice el ciclo de fabricación (Parra, 2022).

Así mismo la minería, las operaciones de beneficio, las presas de relaves y los relaves mineros son fuentes comunes de estas descargas peligrosas, que comprenden metales disueltos y compuestos orgánicos solubles e insolubles; también se observa decoloración y turbidez del agua de ríos y lagos, así como la muerte de miles de especies acuáticas. Además, de tener un pH bajo el efluente ácido de la mina también tiene una gran cantidad de metales pesados y se pueden encontrar sulfatos (Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, y Ni) en concentraciones de unos pocos cientos de miligramos por litro (Flores, 2023). La mayoría de estas sustancias en grandes cantidades son tóxicas para los seres vivos, contaminan los sistemas de agua y amenazan la infraestructura hecha por el hombre; el alto costo del tratamiento en las plantas tradicionales destaca la necesidad de enfoques innovadores (Eloisa, 2023).

Los líquidos de los efluentes de operaciones mineras y metalúrgicas tienen límites máximos permisibles (LMP) especificadas para una variedad de elementos, compuestos y características; superar estas cantidades es peligroso para la salubridad de las personas, para el medio ambiente y otras especies. Estos LMP son firmes y no se pueden cambiar. Se sabe que la salud humana y la sostenibilidad ambiental están en peligro cuando los efluentes o las emisiones incluyen cantidades excesivas de componentes físicos, químicos o biológicos (Parra, 2022).

Las influencias naturales y la intervención humana afectan la calidad de cualquier cuerpo de agua, ya sea en la superficie o en las profundidades. Estos estándares se establecen para los efluentes de la minería metalúrgica para evitar una contaminación extensa del medio ambiente y cambios extremos en un ecosistema, como la extinción de animales acuáticos. Dado que el agua es esencial, se considera importante evaluar qué tan bien se trata y monitorea el agua en las operaciones mineras metalúrgicas de mina interior.

Ante ello se plantea el presente trabajo de investigación titulado: Eficiencia de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo ar 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas; el cual contiene cuatro capítulos que a continuación se menciona:

El capítulo I, establece el problema de estudio, antecedentes referidos a la investigación, y los objetivos logrados que contempla el estudio.

El capítulo II, manifiesta argumentos relacionados al tema de estudio, marco teórico, marco conceptual referidos al proyecto, y las hipótesis de investigación.

El capítulo III, en donde se contempla la metodología del estudio el cual especifica la población y muestra, el tipo y diseño de estudio, técnicas e instrumentos y el procedimiento metodológico.

El capítulo IV, el cual contempla los resultados logrados con su respectiva contrastación de hipótesis por objetivo, y su discusión. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones mas importantes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la minería es cada vez más competitiva en todo el mundo, pero, irónicamente, también se percibe como una actividad depredadora de los ecosistemas. A medida que esta industria se ha expandido, también lo ha hecho la oposición a ella, como demuestran los residuos tóxicos que se liberan, como el drenaje ácido de las minas (Flores, 2023), dándose cuando los sulfuros en las rocas mineralógicas expuestas reaccionan con el oxígeno y el agua, dando como resultado una solución con un pH bajo y grandes cantidades de iones inorgánicos peligrosos, siendo reconocido como uno de los inconvenientes ecológicos más apremiantes en muchas comunidades mineras peruanas (Parra, 2022); con ello se presentan elevados niveles de ácidos, cobre, sulfatos, hierro, así como la lixiviación de ciertos metales relacionados con los minerales, azufre, y cómo estas propiedades afectan negativamente la calidad del agua ingerida por los organismos acuáticos y los seres humanos (Trujillo, 2022).

Así mismo la minería en el Perú, Debido a su larga historia y a su papel en la generación de divisas para resguardar el equilibrio macroeconómico, la minería también se valora y se considera el principal motor del incremento de la economía peruana (Eloisa, 2023), sin embargo, durante la extracción y el procesamiento de minerales, se dejan residuos y relaves, lo que da lugar a aguas ácidas que con frecuencia se vierten en los ríos, contaminando gravemente (Trujillo, 2022).

De igual manera en la unidad minera Las Águilas situada en la región de Puno, no

escapa de esta realidad; debido a que existe el vertido sin previo tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) de manera constante hacia el cuerpo receptor, lo cual conlleva a que se contamine las aguas superficiales y subterráneas como consecuencia de la migración de lixiviados tóxicos; así, perjudica gravemente a la vida acuática de ríos y a la ecología de su entorno, con consecuencias adversas que incluyen pérdida de cosechas, mortandad de especies acuáticas, padecimientos y problemas sociales hacia la población porque genera perjuicios en sus medios de vida, como es la malformación y muerte de sus animales. En tal sentido se propicia el desarrollo de la presente investigación planteándose las siguientes interrogantes:

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Qué eficiencia de remoción alcanzará el cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ❖ ¿Cuánto es la concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas?
- ❖ ¿Cuál es la dosis óptima del reactivo AR 1849, para la remoción del cadmio y zinc en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas?
- ❖ ¿Cuánto es el porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica debido a que el drenaje ácido de mina representa una amenaza para la vida acuática en el cuerpo receptor, la flora y la calidad del agua para el consumo humano y animal, debido a la presencia de contaminantes, especialmente metales disueltos como es el caso del cadmio y zinc. Lo cual puede ser dañino a la salud humana si sus concentraciones superan los umbrales seguros, causando síntomas que incluyen insuficiencia hepática y renal.

Ante ello el presente trabajo mediante el empleo del reactivo AR 1849 busca un proceso de coagulación-floculación, el agua tratada cumplirá las Normas de Calidad

Medioambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles y podrá volver a utilizarse para las diversas operaciones de la empresa minera, como el riego de carreteras y pastos en la zona de cierre. El sistema de tratamiento también disminuirá la carga contaminante de metales en el drenaje ácido, evitando cualquier efecto medioambiental negativo en el cuerpo receptor.

Las comunidades del área en estudio también se beneficiarán del agua tratada que se producirá al aplicar el reactivo AR 1849, ya que mejorará la calidad hídrica y disminuirá la mortalidad de los animales, lo que reducirá la tasa de conflictos socioambientales.

Este estudio tiene un valor científico significativo, ya que generará nueva información para abordar un problema específico (remoción de cadmio y zinc, etc.) utilizando un enfoque de desarrollo sencillo y rentable, servir de ayuda a las organizaciones a cumplir con sus obligaciones ambientales continuos, refinar sus operaciones, disminuir su huella y aumentar la calidad ambiental. El drenaje ácido de minas debe tratarse para reducir los metales tóxicos antes de que pueda liberarse en un área receptora (ríos, lagos, suelo, etc.) y usarse nuevamente para fines como riego de vías y áreas verdes.

1.3. ANTECEDENTES

1.3.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Bellettini (2024), desarrolló su investigación con el objetivo de determinar si el alga extremófila *Chlamydomonas acidophila* puede ser una opción viable para la remediación de la DAM, se determinaron los valores EC50 a pH 3,6 y 7 con el fin de evaluar la posible fluctuación de la toxicidad del Zn en función del pH. Enfoque: Se utilizaron mediciones de densidad óptica, clorofila a in vivo y turbidez para evaluar la tasa de crecimiento de *C. acidophila* a ambos pH. Los organismos se expusieron a dosis variables de zinc durante las 144 horas que duró la prueba de toxicidad a pH 3,6 y pH 7. La tasa de crecimiento de *C. acidophila* fue de 0,16 a pH 7 y de 0,20 a pH 3,6. Los resultados mostraron que el crecimiento de *C. acidophila* a pH 7 fue de 0,16 y de 0,20 a pH 3,6, respectivamente. Los resultados mostraron que las algas crecían a ambos pH, pero que el crecimiento era sustancialmente mayor ($p < 0,05$) a pH 3,6. A mayores concentraciones de Zn y mayores

tiempos de exposición, los experimentos de toxicidad mostraron una tendencia general de supresión del crecimiento. A pH 3,6, la EC50 media fue de 1,33 g/L ($\approx 4623,36 \mu\text{M}$), mientras que a pH 7 fue de 0,45 g/L ($\approx 1580,53 \mu\text{M}$). Se estableció que la cepa en estudio era acidófila y que el Zn era más peligroso a pH 7.

Freire & Loja (2024), efectuaron su investigación con el objetivo de evaluar la eficacia de la zeolita como adsorbente de metales pesados en la depuración de aguas residuales de la concesión PAPAGRANDE, - Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez. Planteamiento: El estudio se concentró en la eliminación de los contaminantes encontrados en el agua contaminada de la mina, incluyendo arsénico, plomo y zinc. Se realizaron ocho experimentos en total, divididos en dos grupos. En el primer grupo se emplearon cuatro muestras con una base de zeolita y un estrato superior de arena. Cada muestra tenía incrementos de 50 g de zeolita que iban de 50 g a 200 g. En cada muestra, el contenido de arena estuvo en 200 g. En el segundo grupo de experimentos se utilizaron las mismas cantidades de zeolita, pero el orden se invirtió, con la arena en la parte inferior y la zeolita en la superior. Los objetivos eran verificar la eficacia de la zeolita para eliminar los metales pesados del agua y establecer un plan viable para el destino final del agua tratada, fomentando al mismo tiempo su adecuada reutilización. En resumen, la comparación de los niveles de metales antes y posterior al tratamiento consintió evaluar la eficacia del proceso y proporcionó información vital para la modificación del sistema de depuración de aguas residuales mineras.

Hakemm & Gbolahan (2023), realizaron su investigación con el objetivo de desarrollar un método hidrometalúrgico de circuito cerrado para recuperar y eliminar los metales pesados más comunes (Co, As, Cd, Ni, Cr, Cu, Zn y Pb) de la fase acuosa, se impuso inicialmente un reactor de tanque agitado continuo de 1 L a una depuración ácida suave con H_2SO_4 al 3 % v/v a 25 °C y 600 rpm durante 30 minutos. Según los resultados, el bajo nivel en sólidos (5 % p/v), el empleo de ácidos minerales con un pH de 2 y un potencial de oxidación-reducción (ORP) de 500 mV (frente a SHE), y una eficiencia de extracción media del 70 % favorecieron la solubilización de los HM de los biosólidos. La capacidad

de la corriente de lixiviado de residuos para recuperar metales durante el reciclado se vio reforzada por la síntesis in situ de sulfato férrico y su seguida disolución del hierro férrico (Fe^{3+}) por medio de H_2SO_4 . determinando que los métodos de recuperación de metales más eficaces fueron la oxidación en dos etapas con H_2O_2 y la precipitación con NaOH , que recuperaron entre el 75 y el 95 % de los HM.

Jurado (2022), desarrolló su estudio con el objetivo de remover metales y neutralización de la acidez del DAM de Santa Rosa, provincia de El Oro. Metodología: Para validar este proceso se diseñará, montará y operará una planta piloto de operación continua que involucre procesos fisicoquímicos. Consta de un reactor inicial para la neutralización, aireación y coagulación, un tanque de decantación para la retención de los lodos y un filtro de arena/caliza. Se alcanzó un pH final de 8,42 y los porcentajes medios de eliminación fueron del 100 % de hierro, 98,93 % de cobre, 100 % de arsénico, 94,05 % de cadmio, 99,56 % de manganeso y 95,72 % de aluminio. Todos estos valores satisfacían las limitaciones de vertido. Aunque no se eliminó el sulfato, está por debajo de la cantidad máxima que puede liberarse. En conclusión, se ha demostrado la eficiencia y la importancia de establecer y operar una planta piloto para eliminar metales y neutralizar la acidez en el drenaje ácido de mina de Santa Rosa, provincia de El Oro.

Masindi et al., (2022), realizaron su investigación con el objetivo de determinar las tasas de saturación de las fases minerales en relación con la composición y las concentraciones de la solución. Metodología: Para los experimentos por lotes se recogieron efluentes reales de aguas residuales. Las aguas servidas domésticas se recogieron de la corriente de deshidratación de lodos de una EDAR municipal de la zona sudafricana de Gauteng. El recipiente de la muestra era una botella de polietileno de alta densidad (HDPE) de boca estrecha y tapón cerrado. Para ello se utilizó el modelo geoquímico avanzado PH Redox Equilibrium (PHREEQC). Las aguas servidas municipales (AMW) y el drenaje ácido de mina (AMD) se trataron conjuntamente durante 15 minutos a temperatura ambiente con una proporción líquido-líquido de AMD a MWW (1:7 LL). Los resultados, basados en métodos analíticos, mostraron que el contenido en

fosfatos del MWW se erradicó (≥ 99 %), el contenido en metales del AMD (Al, Fe, Mn y Zn) disminuyó significativamente (~ 95 %) y el sulfato se redujo (~ 92 %). Concluyen que aunque el tratamiento combinado de AMD y MWW es posible, todavía no está comprometido para su uso práctico debido al alto volumen de MWW en relación con AMD.

Rivera (2020), efectuó su investigación con el objetivo de investigar la eficacia de la piedra caliza y el edafosedimento carbonatado en el tratamiento del drenaje ácido de una mina cerrada. Se utilizaron edafosedimentos carbonatados-DAM con proporciones 1:2,5 y 1:20 (sólido: líquido) y piedra caliza-DAM con las mismas proporciones en pruebas por lotes. La metodología incluyó la caracterización mineralógica, química, geoquímica y micromorfológica de materiales de carbonato cálcico de diverso origen (edafosedimento y caliza). Además, registraron la conductividad eléctrica y la cinética del pH en la primera hora y posteriormente cada 24 horas hasta las 259 horas. En ambos estudios, los valores finales de pH pasaron de ácidos a neutros. Tras el tratamiento, la caliza mostró una retención del 100 % de Cu, Fe, Ni, Al y Cd, mientras que el edafosedimento mostró una relación 1:2,5; el Zn mostró una retención con niveles por debajo de los límites permitidos. En conclusión, se demostró la eficacia del edafosedimento carbonatado para neutralizar elementos potencialmente nocivos, y se comprobó que la proporción 1:20 era la más práctica, ya que la proporción 1:2,5 mostraba grandes cantidades de Na^+ y Cl^- .

1.3.2. A NIVEL NACIONAL

Castillo & Pulido (2024), desarrollaron su investigación con el objetivo de remover los materiales metálicos del agua del depósito de relaves de la Planta Concentradora Mahr Túnel en Yauli, Junín, Perú. Metodología: Se utilizó cloruro férrico a 10-40 ppm para extraer cobre, plomo, zinc, hierro, arsénico y cadmio del agua del depósito de relaves. Los resultados muestran que el cloruro férrico no es muy eficaz para eliminar el hierro. Por último, tras aplicar hipoclorito cálcico y sosa cáustica, las lecturas del agua se mantuvieron por debajo del LMP, lo que indica que pueden repetirse pruebas similares en diversos efluentes de estériles teniendo en cuenta las propiedades únicas del efluente.

Quispe & Torres (2024), realizaron su investigación con el objetivo de estimar la eficacia del uso de mucílago de cactus para eliminar metales pesados de la laguna de la Fundición de Cerro de Pasco. Se tomaron dos muestras de la laguna como parte de la metodología del estudio experimental. Se realizaron análisis de parámetros. En consecuencia, el pH disminuyó de 8,25 a 7,06. La turbidez bajó de 320,00 NTU a 145,00 NTU. La concentración de metales pesados disminuyó de 1,966 mg/l a 1,72 mg/l en el caso del aluminio, de 0,364 mg/l a 0,28 mg/l en el del cobre, de 8,844 mg/l a 6,788 mg/l en el del hierro, de 0,554 mg/l a 0,515 mg/l en el del plomo y de 1,856 mg/l a 1,538 mg/l en el del zinc. En resumen, los niveles de aluminio, cobre, hierro, plomo y zinc se redujeron satisfactoriamente mediante la aplicación de mucílago de nopal.

Valencia (2024), desarrolló su investigación con el objetivo de realizar el tratamiento de aguas ácidas usando lechada de cal, Lima, 2023, para el tratamiento de aguas ácidas de mina de acuerdo al DS N° 010-2010 MINAM de una empresa minera. Planteamiento: En el tratamiento de aguas ácidas se tuvo en cuenta el pH y la duración del contacto. El hierro (2,67 mg/L), el zinc (2,202 mg/L), el cobre (0,456 mg/L) y el pH (3,34) fueron los factores de los datos que estaban por encima del LMP. Utilizando una dosificación de 0,142 kg/m³ de lechada de cal al 20 %, se comprobó que los mejores resultados se obtenían con un periodo de contacto de 20 minutos en la etapa de neutralización, determinando que los contenidos finales de cobre (0,007 mg/L), hierro (0,02 mg/L) y zinc (0,021 mg/L) de la solución tratada se encontraban dentro de los límites máximos admisibles.

Vito & Yarcuri (2024), realizaron su investigación con el objetivo analizar cómo afecta el tratamiento de extracción ácida a la recuperación de metales pesados procedentes de pasivos mineros. Los niveles iniciales de cadmio, plomo y mercurio se redujeron significativamente como consecuencia de una técnica que demostró que el tratamiento de extracción ácida tenía un efecto beneficioso en la recuperación de metales pesados. Según los resultados, existen concentraciones notables de mercurio, plomo y cadmio en los lodos de minería, con valores respectivos de 10135,75 mg/kg, 18760 mg/kg y 78,25

mg/kg. Se descubrió que el 50 % de cloruro de hidrógeno era la concentración ideal para el método de extracción ácida, permitiendo una mejor recuperación de mercurio para el plomo y el cadmio. determinando que una mayor recuperación media de metales requiere un plazo más largo.

Eloisa (2023), efectuó su investigación con el objetivo de evaluar la remoción de cal para diluir agua ácida (AA) con agua residual municipal (ARM) en la localidad de Quiulacocha, distrito de Simón Bolívar, provincia y región de Pasco, con el fin de evaluar la remoción de metales pesados Cu, Fe y Zn. Técnicas: Para ello se examinó el contenido de metales pesados del AA y ARM. A continuación, se realizaron dos pruebas y se examinaron los metales pesados Cu, Fe y Zn: En primer lugar, se realizaron tres tratamientos con tres dosis distintas de cal en una dilución 1:7 (AA: ARM). En segundo lugar, la ARM se trató de forma diferente a la AA. Los resultados de laboratorio mostraron que los metales pesados Cu, Fe y Zn se eliminaron en un 93,04 %, 99,95 % y 99,95 % del AA, y que sus altas concentraciones superaban significativamente los Límites Máximos Permisibles. Estos resultados se ajustan a los Límites Máximos Permisibles.

Colque & Murrugarra (2023), efectuaron su investigación con el objetivo de evaluar en qué medida la dolomita elimina As, Cu, Cd, Fe, Pb y Zn del drenaje ácido de mina de los riesgos medioambientales asociados a la explotación minera de Hualgayoc. Metodología: La dolomita se utiliza para crear alternativas de bajo costo y alta eficiencia a las tecnologías convencionales. Los resultados mostraron que, además de un pH de 2,69, las concentraciones iniciales para el Punto 01 fueron 0,367 mg/L de As, 0,379 mg/L de Cu, 0,372 mg/L de Cd, 122,3 mg/L de Fe, 0,110 mg/L de Pb, y 69 mg/L de Zn. Se realizaron tres tratamientos en total, añadiendo 10, 20 y 30 g de dolomita; el tratamiento que incluía una dosis de 30 g y seis horas de sedimentación produjo los mejores resultados. En el punto 01, se determinó que el tratamiento con 30 g de dolomita podía reducir el As en un 98,64 %, el Cu en un 95,25 %, el Cd en un 98,39 %, el Pb en un 96,40 %, el Fe en un 99,87 % y el Zn en un 84,65 %. Además, el pH pudo elevarse a un valor neutro de 7,63.

Rojas (2023), desarrollaron su investigación con el objetivo de proporcionar un enfoque diferente al problema causado por las aguas ácidas de la laguna de Quiulacocha. Se tomaron muestras compuestas de drenaje ácido de mina en un lugar específico de la laguna de Quiulacocha como parte del proceso; al caracterizarlas, se descubrió que los valores de los parámetros fisicoquímicos excedían los requisitos. Los duplicados correspondientes se aplicaron a ocho muestras de 1 L de drenaje ácido de mina. Los resultados del tratamiento en la etapa de alcalinización mostraron una eficiencia del 98,30 % para el hierro, 99,83 % para el cobre, 99,48 % para el plomo y 66,59 % para el zinc, todos ellos significativamente por encima de los límites ambientales para estos elementos, pero no para el plomo. Se determinó que un sustituto eficaz para neutralizar los fluidos ácidos es el proceso de alcalinización con cal al 10 % m/v seguido de una etapa de sulfuración con NaSH al 10 % m/v.

Valverde (2022), realizaron su investigación con el objetivo de determinar la proporción de bioadsorción de metales pesados procedentes del drenaje ácido de minas. Metodología: se realizó un análisis de las concentraciones de partida de los metales a evaluar. Tras ser limpiada y cortada en dados, la biomasa se secó a 60° C en un horno. Se crearon tres grupos experimentales. El Grupo 1 (G1) utilizó 10 g de cáscara por litro de drenaje ácido de mina, el Grupo 2 utilizó 20 g de cáscara por litro y el Grupo 3 utilizó 30 g de cáscara por litro. Según los resultados, el cobre tuvo una tasa de eliminación más alta (87 %) y se alcanzó en G2. El plomo ocupó el segundo lugar con un 77,2 % en G1, el cadmio el tercero con un 69,1 % en G3, el zinc el cuarto con un 63,4 % en G3, y el arsénico el último con un 32 % en G3, lo que indica que los metales pesados pueden eliminarse del drenaje ácido de mina utilizando cáscara de limón como coagulante.

Aponte (2020), efectuaron su investigación con el objetivo de demostrar que el drenaje ácido de la unidad minera COMARSA, procedente de las escombreras de Clarita, Sacalla y a cielo abierto, puede tratarse eficazmente, tanto desde el punto de vista técnico como medioambiental, mediante la neutralización y la coagulación. Planteamiento: Se realizaron experimentos a escala de laboratorio para el tratamiento químico de

neutralización y coagulación, obteniéndose resultados que permiten su aplicación a mayor escala. Según los resultados, el método de neutralización y coagulación produjo lodos estables y de alta densidad, lo que supone un beneficio medioambiental adicional. Los porcentajes de eliminación de metales logrados por este método fueron favorables en un 99,5 % en comparación con los obtenidos por el método convencional. En definitiva, se determina que el método de tratamiento activo es viable y satisfactorio para el caso estudiado, teniendo en cuenta todos los factores necesarios para su aplicación a escala mundial.

1.3.3. A NIVEL REGIONAL

Huanca (2023), desarrolló su investigación con el objetivo de determinar las características inorgánicas y fisicoquímicas del agua ácida de mina, neutralizar mediante la técnica de la lechada de cal y evaluar la eficacia del agua neutralizada para aumentar la concentración de oro en Trapiche. En la sección de métodos, se añadieron tres duplicados de lechada de cal al 1 % mediante precipitación alcalina y, a continuación, se evaluó la eficacia del agua tratada. Se obtuvieron los siguientes resultados: Con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 1 % y pH de 8,35, los metales pesados disueltos (Al, Cd, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) superaron el LMP. El Al se eliminó en un 88,64 %; el Cd, en un 99,41 %; el Cu, en un 99,53 %; el Co, en un 99,98 %; el Fe, en un 99,88 %; el Mn, en un 94,99 %; el Ni, en un 99,94 %; el Pb, en un 97,80 %, y el Zn, en un 99,91 %; en el segundo análisis, el Al se eliminó en un 99,83 %; el Cd, en un 36,17 %; el Cu, en un 70,77 %; el Fe, en un 99,81 %; el Mn, en un 86,88 %; el Pb, en un 99,15 %, y el Zn, en un 94,06 %. Se determinó que el agua tratada satisface los LMP eliminando los metales pesados de la DAM y gestionando los factores de pH, tiempo y caudal.

Mamani (2019), realizó su investigación con el objetivo de evaluar el plan de caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas de la mina La Rinconada. En el Laboratorio de Vigilancia y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas-UNAP, utilizamos el método activo de neutralización -precipitación con cal como agente neutralizante- para el tratamiento. El estudio es experimental y explicativo,

empleando la caracterización física y química adecuada. Las pruebas de neutralización se realizaron utilizando 500 ml de muestras de agua con un pH de 3,38 y concentraciones de metales pesados disueltos como Cu, Fe, Al, Zn, Ni y Mn. Después de 05 a 10 minutos, los resultados finales de las pruebas de neutralización mostraron valores de pH de 6,5 y 8,5 con una precipitación aceptable de metales pesados disueltos como hierro en 93,84 %, cobre en 80,95 %, aluminio en 99,37 %, zinc en 84,88 %, níquel en 10,3 % y manganeso en 95,55 %. donde 0,4 gramos de cal por litro de agua ácida es la cantidad ideal.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficiencia de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar la concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas
- ❖ Determinar la dosis óptima del reactivo AR 1849, para la remoción del cadmio y zinc en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas.
- ❖ Determinar el porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1.1. DRENAJE ÁCIDO DE MINA

Lo ideal sería clasificar el agua ácida de mina utilizando la curva de acidez (Fig. 1), que tiene en cuenta los componentes tamponados e hidrolizados, antes de su tratamiento. El agua de mina se clasifica como agua ácida pura de mina cuando su pH es inferior a 4,5 y presenta concentraciones significativas de carga metálica. (Aduvire, 2018).

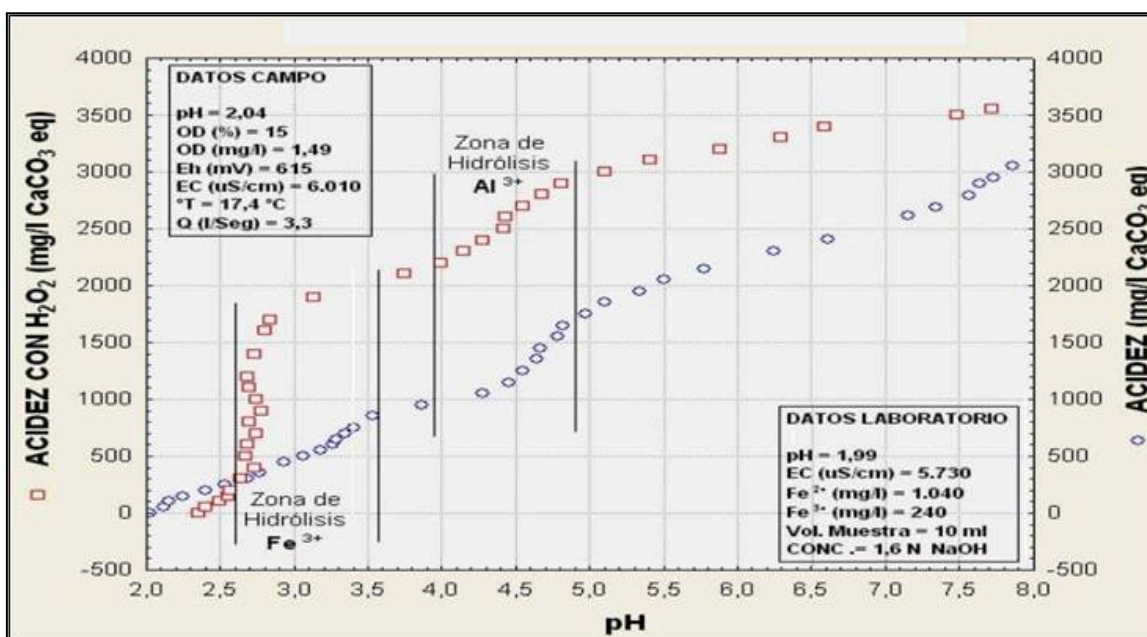


Figura 01: Curvas de acidez de agua de mina

Fuente: Obtenido del (Aduvire, 2018)

El DAM tendrá mayores concentraciones de partículas en suspensión y metales pesados, dependiendo del tipo de roca estéril y depósitos de estériles. Se aconseja abordar el DAM a medida que se produce, ya que este problema es una de las causas más graves de

contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, que puede durar décadas o incluso cientos de años. Además, incrementa los gastos (Shim et al., 2015).

Caracterización de aguas residuales de mina

Para estimar el sistema de drenaje, es necesario efectuar un examen exhaustivo. Para determinar el contenido de metales en función del clima local, las características de los efluentes de la mina y otros factores naturales, se recogen muestras de agua del fondo y sedimentos y se envían a un laboratorio. Allí se miden sobre el terreno elementos como el pH, la concentración de conductividad, el potencial redox, la temperatura, el oxígeno, el Fe, la acidez/alcalinidad, la turbidez y otros (Aduvire, 2018). Hay dos tipos principales de drenaje de mina, dependiendo de dónde se originó

- Aguas residuales ácidas o solubles altamente
- Aguas alcalinas o residuales de baja solubilidad

Tabla 01: Clasificación de aguas residuales de mina en función al pH

Clase	pH
Altamente ácidas	1.5 a 4.5
Blandas, ligeramente ácidas	5.0 a 7.0
Duras, neutras o alcalinas	7.0 a 8.5
Blandas, alcalinas	7.5 a 11.0
Muy salinas	6.0 a 9.0
Blandas ácidas	3.5 a 5.5

Fuente: Clasificación de las aguas residuales (Aduvire, 2018)

Hay cuatro tipos distintos de drenaje, que se distinguen por las concentraciones de diversos metales y especies minerales en el agua.

Tabla 02: Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.

Clase	pH	Descripción
Ácido	< 6	<p>La oxidación de los minerales, especialmente los sulfuros, produce acidez.</p> <p>Los niveles de metales disueltos son mayores que en los drenajes que son casi neutros.</p> <p>Correlacionado con piritas, carbón y minería metálica.</p>
Alcalino	< 9 o 10	<p>La descomposición de minerales básicos, especialmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos, produce una elevada alcalinidad.</p> <p>Ciertos metales, como el aluminio, tienen concentraciones mayores que en los drenajes casi neutros; están relacionados con las cenizas de combustión del carbón, el procesamiento de la bauxita y la minería de diamantes.</p> <p>Algunas épocas pueden ser ácidas o alcalinas en función de la riqueza mineral.</p>
Casi neutro	6 - 9 o 10	<p>Las concentraciones de metales pueden verse afectadas por las concentraciones de metales disueltos, que a veces pueden superar niveles peligrosos.</p>
Otros	Irrelevante	<p>Se trata de potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas y otros materiales relacionados con la minería no metálica.</p>

Fuente: Clasificación de las aguas residuales White, (Aduvire, 2018)

Mecanismos de formación de aguas ácidas

De acuerdo a Aduvire (2018), los cuatro factores siguientes contribuyen a la producción de agua ácida:

- Sulfuro mineral, en particular sulfuro de hierro.
- Agua (como humedad o líquido).
- Oxidante (oxígeno transportado por el aire o derivado químicamente).
- Un elemento catalizador son las bacterias.

Etapas de formación del DAM

A menudo se ve como un procedimiento de tres pasos que se identifica por el pH del agua.

Los minerales sulfurados sufren una oxidación química en el primer paso, en el que el oxígeno actúa como oxidante primario. Los iones ferrosos (Fe^{+2}) que se liberan como consecuencia de esta oxidación se oxidan rápidamente a iones férricos (Fe^{+3}) y precipitan como hidróxidos en valores de pH superiores a 7. Como no hay suficiente hierro férrico presente para actuar como oxidante, la tasa de oxidación es mínima en este punto. El pH del agua desciende a 4,5 como resultado de la producción de ácido en curso (Aduvire, 2018).

En la segunda etapa se producen reacciones químicas y biológicas de oxidación. Se crea sulfato ferroso, que sufre otra oxidación para convertirse en sulfato férrico. Cuando este último se expone al agua ácida, forma ácido sulfúrico e hidróxido férrico, que da al agua su tono amarillo. Este proceso continuará hasta que el pH descienda por debajo de 3,5 (Aduvire, 2018). En la tercera etapa, el agente oxidante de los sulfuros se transforma en hierro férrico (Fe^{+3}), que tiene una capacidad de oxidación mucho mayor que el oxígeno. De esta forma, las reacciones de oxidación dan lugar a iones ferrosos (Fe^{+2}), que se transforman en iones férricos (Fe^{+3}), el nuevo oxidante, cuando hay bacterias. Del mismo modo, cuando el pH del agua desciende por debajo de 4,5, los procesos de oxidación-reducción afectan al ión férrico, y las bacterias pueden extraer sulfuro de hierro directamente del sulfato. En el proceso, las bacterias convierten el ion ferroso en férrico,

lo que oxidan los sulfuros y genera un número significativo de ácidos a un ritmo de oxidación mucho más rápido que el establecido en la primera etapa (Aduvire, 2018).

La influencia de variables ecológicamente significativas, incluyendo pH, DO, condiciones redox, presencia de clorito (Cl⁻), metales sensibles al redox como aluminio (Al) y hierro cero-valente (Fe⁰), y metales orgánicos complejos, se estudian en relación con la dinámica y los procesos de oxidación de la pirita (Aduvire, 2018).

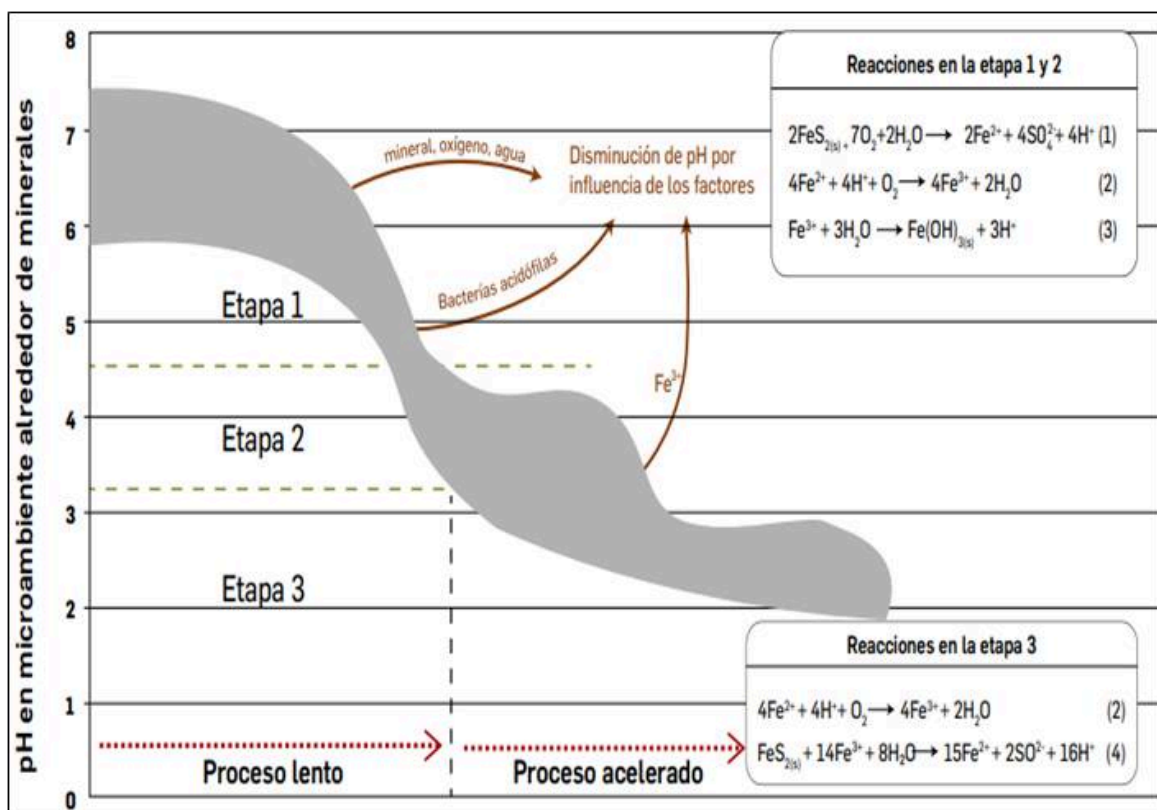


Figura 02: Etapas en la generación del DAM

Fuente: Obtenido de (Barral, 2018)

2.1.2. METALES PESADOS

a) **Arsénico-** El As (III) es más tóxico que el As (IV), y la intoxicación humana se produce por inhalación o consumo de trióxido de arsénico (As₂O₃). Las personas intoxicadas sufren graves trastornos gastrointestinales, calambres y colapso circulatorio. El nivel máximo aceptable en el ganado es de 50 mg/kg del tipo inorgánico y de 100 mg/kg del tipo orgánico. La intoxicación crónica puede deberse al consumo de alimentos y agua que contengan arseniuros o a la inhalación prolongada

de polvo en el trabajo, lo que puede provocar enfermedades vasculares, bronquitis, cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga, así como pigmentación de la piel y lesiones en la médula ósea, la sangre, el hígado, las vías respiratorias y el sistema nervioso central. A menudo se encuentra en fuentes de agua potable como resultado de operaciones químicas, pesticidas e industriales que contaminan el agua (Quispe & Torres, 2024).

- b) Cadmio-** Aunque se encuentra de forma natural en rocas y suelos, se introduce en el medio ambiente a través de pinturas, fertilizantes, plásticos, baterías, productos químicos relacionados con el zinc y la adición de basura al suelo, entre otras cosas. Se acumula en el hígado y los riñones y tiene una vida media de 18 a 33 años en los riñones. Es perjudicial tanto para las personas como para los animales y puede tener efectos a corto, medio y largo plazo. La OMS afirma que una dosis diaria de 70 $\mu\text{g/g}$ de cadmio es necesaria para salvaguardar la salud humana, mientras que una concentración crítica de 200 $\mu\text{g/g}$ provoca daños en la corteza renal. Además de aumentar la adsorción de cadmio, una dieta deficiente en hierro también aumenta la retención de cadmio (Quispe & Torres, 2024).
- c) Plomo-** No es un componente necesario para las plantas, los animales o los seres humanos, pero es venenoso para las personas, especialmente para los más jóvenes, y puede encontrarse en el suelo, el agua, el polvo, el aire y los alimentos. Los animales pueden intoxicarse con dosis de 30 mg/kg del mismo. La principal fuente de contaminación es la gasolina a la que se añade plomo orgánico. El plomo se considera la segunda toxina más importante del organismo y puede causar cáncer de riñón, anemia y problemas neurológicos. Crea problemas de crecimiento e incide en el sistema neurológico. Las pilas y los insecticidas lo contienen. Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) de EE.UU. afirman que los niveles de PbS en todas las categorías de edad de la población general aumentan cuando superan los 5 $\mu\text{g/dl}$ (Quispe & Torres, 2024).
- d) Mercurio-** El metilmercurio es un elemento neurotóxico peligroso para las personas,

los animales y las plantas. La gente se ha intoxicado gravemente con pescado y semillas contaminadas con mercurio. Penetra en el suelo por deposición de partículas en el aire o a través de su aplicación en pesticidas, fungicidas y otros productos agrícolas. Se acumula en los organismos y puede provocar problemas en el sistema respiratorio y alteraciones neurológicas (Quispe & Torres, 2024).

- e) **Cobre-**. Está ligado a proteínas y enzimas vitales para la reproducción y es necesario tanto para los seres humanos como para los animales. Es peligroso para los animales y se acumula en el cerebro, el hígado y el pelo en cantidades que oscilan entre 25 y 100 mg/kg. Aunque no es venenoso, es tóxico para los seres humanos y puede provocar úlceras gastrointestinales, necrosis y daños hepáticos y renales. Su carencia puede provocar anemia relacionada con problemas de absorción del hierro, desequilibrios mentales o neurológicos y problemas en los sistemas cardiovascular y óseo. El hígado puede reciclarlo. Para las plantas, dosis de 25-40 mg/kg son peligrosas (Quispe & Torres, 2024).
- f) **Zinc-**. Los mayores contenidos de este mineral se exhiben en los huesos, los músculos, la piel y otros tejidos del cuerpo; se excreta en orina y materia fecal; es vital para los seres humanos, los animales y las plantas; está relacionado con varios procesos metabólicos trascendentales; y es un nutriente esencial para la salubridad humana y animal. Muchas personas en todo el mundo sufren carencias de este mineral. Es vital para la síntesis de proteínas, contribuye a la formación de insulina, ayuda a la contracción muscular, mantiene el equilibrio ácido-alcalino de la sangre, normaliza en base a la glándula prostática, es necesario para la síntesis del ADN y contribuye al desarrollo del esqueleto, el sistema nervioso y el cerebro del feto (Quispe & Torres, 2024).

2.1.3. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DEL DAM

Los procedimientos de tratamiento convencionales incluyen la oxidación forzada mediante oxigenación u ozonización del DAM, así como tratamientos químicos que elevan el pH del DAM, lo que da lugar a la producción de metales insolubles y su eventual

precipitado. Las características del drenaje que debe tratarse y la calidad final deseada determinarán el curso del tratamiento (Marin, 2019).

Oxigenación

Es el acto de añadir oxígeno al agua se denomina oxigenación, y la aireación mecánica es la forma más frecuente de bombear oxígeno a la DAM. Dado que el hierro ferroso es el principal contaminante, la aireación proporciona el oxígeno disuelto necesario para cambiar el hierro de su forma ferrosa a su forma insoluble. Este tratamiento se utiliza con frecuencia cuando la concentración de hierro supera los 5 mg/L. Además, la turbulencia producida por el aireador mantiene el sistema uniforme y dispersa las burbujas de aire (Berrospi, 2019).

Según Montesinos (2017), si hay más de unos 50 mg/L de hierro ferroso, hay que oxigenar el agua para favorecer su oxidación, ya que en el agua solo se pueden disolver unos 10 mg/L de oxígeno (dependiendo de la temperatura). La aireación acelera la oxidación del hierro y aumenta la cantidad de oxígeno disuelto (OD), incluso con concentraciones más bajas de Fe.

Perez, (2016), La oxidación del Fe puede verse afectada críticamente por la deficiencia de OD en la DAM. Por ejemplo, se necesitarán 9 mg/L DO para una oxidación completa si la DAM contiene 63 mg/L Fe^{+2} . Sin embargo, para que la oxidación proceda a mayores concentraciones de Fe^{+2} , es necesaria una reposición mecánica de OD. Por lo tanto, si la tasa de reposición de oxígeno no es suficiente para cumplir con el requisito de oxígeno para la oxidación de Fe^{+2} , la transferencia de oxígeno puede llegar a ser limitante. Además, señala que el hidróxido de hierro ($Fe(OH)_2$) puede extraerse sin oxigenación, aunque se necesita un pH muy alcalino.

Dado que la oxidación inorgánica es lenta por debajo de 5, la eficacia de la inyección de oxígeno para oxidar el Fe^{+2} depende del pH. La oxidación suele ir acompañada de un tratamiento químico para neutralizar el pH y, en algunas situaciones, basta con airear cuando el drenaje está cerca del pH alcalino. Debido a que la conversión de hierro ferroso en hierro férrico depende del pH y se produce significativamente más rápido a pH 8, la

aireación es ventajosa después de la adición de productos químicos. La cantidad de productos químicos neutralizantes requeridos para precipitar el hierro de la DAM suele disminuir con la aireación tanto antes como después del tratamiento (Sheng et al., 2017).

Neutralización

Consiste en añadir un material alcalino al agua para neutralizar su acidez y elevar el pH a un nivel que permita la creación de hidróxidos metálicos insolubles y su posterior precipitación (SHUSTER et al., 2018). Mientras que el hidróxido férrico precipita a un pH de alrededor de 3,5, la mayoría de los metales necesitan un pH entre 6 y 9 para precipitar en el agua (Shuster et al., 2018).

La DMAE se ha tratado utilizando una serie de productos químicos clave, cada uno con propiedades únicas que lo hacen adecuado para una determinada terapia. Las consideraciones fisicoquímicas y económicas determinan cuál de las diversas opciones es la adecuada (Skousen et al., 2019).

A continuación se enumeran algunas sustancias que suelen utilizarse para contrarrestar el drenaje ácido: (Skousen et al., 2019).

- Cal (CaO), se utiliza a menudo para tratar la DAM en forma de polvo fino; suele ser hidrófila y requiere mucha mezcla mecánica para disolverse. A menudo empleada con un mezclador aireador para ayudar a diseminar y mezclar el producto químico en el agua, la cal hidratada, también conocida como lechada de cal, es muy útil y económica en circunstancias de alto caudal y alta acidez. Cuando se utiliza en grandes volúmenes, la cal hidratada tiende sólo a aumentar el volumen del sedimento sin interactuar con el DAM, y es ineficaz para eliminar iones como el Mn en valores de pH extremadamente altos (>10) (Skousen et al., 2019).
- Carbonato cálcico CaCO_3 , se ha utilizado durante muchos años para precipitar metales y aumentar el pH en la DAM. a menudo se utiliza como piedra caliza, que es menos costosa que la cal y tiene riesgos de manipulación mínimos o nulos. Se aconseja su uso cuando la acidez es baja y las impurezas a eliminar del drenaje son mayoritariamente Fe y Al. Para que las partículas puedan quedar atrapadas por los

precipitados en la superficie del drenaje, debe tener un tamaño de grano lo suficientemente pequeño como para disolverse al verterse directamente sobre el drenaje que hay que tratar (Zimmer et al., 2018).

- Hidróxido de sodio (NaOH), se utiliza a menudo en zonas aisladas con grandes cantidades de hierro y manganeso, así como en desagües de movimiento lento y muy ácidos. El NaOH puede gotearse directamente en la DAM para alimentar el sistema; esta solución se disuelve y esparce rápidamente, aumentando el pH de inmediato. Además Barreto (2016), sugiere el uso de NaOH para la recuperación de metales, ya que garantiza la pureza de los metales a recuperar, a diferencia de la cal hidratada, que a menudo forma complejos. Esto se debe a que el NaOH altera el pH pero no forma complejos con el hierro a temperatura ambiente (25°C).
- Amoníaco (NH₃), es un gas a temperatura ambiente que se comprime y se mantiene en estado líquido; cuando entra en contacto con el agua, se disuelve rápidamente. Como es una base fuerte, eleva rápidamente el pH a 9,2. Como el amoníaco es menos espeso, debe inyectarse en flujo dinámico antes de entrar en el decantador para garantizar una interacción adecuada. Los operadores deben realizar periódicamente estudios adicionales de temperatura, acidez y amonio total en el DAM, y el amoníaco debe utilizarse con mucho cuidado (Skousen et al., 2019).
- Carbonato de sodio (Na₂CO₃), se utiliza a menudo para tratar el DAM en lugares aislados con caudal lento, baja acidez y bajo contenido en metales; debido a su bajo coste, su utilización viene determinada principalmente por la conveniencia de tratar la afección. La cantidad de carbonato sódico a utilizar viene determinada por el caudal y las propiedades del SDF. El carbonato sódico se suministra por gravedad a través de contenedores de almacenamiento en forma de briquetas sólidas (Skousen et al., 2019).

La dosis química adecuada, el impacto energético de la mezcla y la duración de la mezcla son las variables más cruciales a tener en cuenta cuando se utilizan estos procedimientos (Caviedes et al., 2015).

Antes de su aplicación, cada DAM debe probarse con varios productos químicos. La titulación es la prueba utilizada para determinar qué reactivo químico es mejor para precipitar metales. También se deben evaluar los costes de cada sistema de tratamiento de DAM basado en la neutralización (incluidos los costes de los reactivos, la inversión de capital y el mantenimiento del sistema de dispersión) y la eliminación de sedimentos para identificar el sistema más eficaz y económico (Perez, 2016).

Ozonización

El ozono es un oxidante químico muy eficaz debido a su alto potencial redox, que puede utilizarse para descomponer contaminantes orgánicos e inorgánicos. En la actualidad, el ozono se utiliza para tratar varios tipos de agua, incluidas las aguas residuales y las aguas industriales. También se aconseja pretratar el agua para eliminar los metales disueltos, lo que reduciría la necesidad de coagulantes y periodos de retención. Debido a que la ozonización es más rápida y eficaz que otras técnicas (aireación, Cl_2 , KMnO_4), se utilizó por primera vez en 1960 para oxidar el Fe^{+2} , eliminar el color del agua y tener efectos coagulantes (Berrospi, 2019).

Así mismo Rodríguez Vidal, (2003), señala que el ozono es un oxidante muy potente para varias especies inorgánicas reducidas, incluyendo Mn^{+2} , S^{-2} , NH_3 , y otros, además de Fe^{+2} . (Shim et al., 2015).

El uso más común es la oxidación de especies Fe^{+2} y Mn^{+2} , que pueden colorear el agua y promover el desarrollo de bacterias que dependen de estos metales. En estas situaciones, la ozonización es más rápida y eficaz que otras técnicas (aireación, cloración) porque convierte estas especies reducidas en sus homólogas oxidadas insolubles, Fe^{+3} y Mn^{+4} (Castillo & Pulido, 2024).

2.1.4. REACTIVO AR 1849

Es una sustancia especializada que se utiliza en procedimientos para eliminar metales pesados de soluciones acuosas o del agua. Estos reactivos suelen utilizarse para precipitar metales, como el cadmio (Cd), el plomo (Pb) y el mercurio (Hg), convirtiéndolos en formas insolubles que pueden extraerse del agua.

Los rasgos más prevalentes en el caso concreto del AR 1849 son los siguientes:

Alta eficacia de eliminación: hecho para eliminar muchos tipos diferentes de metales pesados.

Función de precipitación: forma compuestos insolubles que pueden filtrarse o sedimentarse al reaccionar con los iones metálicos del agua.

Amplio rango de pH: Funciona bien en un rango de valores de pH que incluye ambientes ácidos y ligeramente alcalinos, lo que lo hace adaptable a una gran variedad de tipos de agua.

La minería, la galvanoplastia, la fabricación de baterías y cualquier otro negocio en el que haya metales pesados presentes en efluentes o soluciones suelen utilizar este tipo de reactivo.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Aguas ácidas- Se crean cuando los microorganismos catalizan la meteorización de los minerales de sulfuro (Valencia, 2024).

Agua de drenaje ácido de mina -. Escorrentía ácida de las plantas de procesamiento de metales. Los metales de sulfuro (a menudo piritita, un sulfuro de hierro) en las rocas circundantes y las rocas estériles se vuelven ácidos cuando se exponen al aire y al agua (Parra, 2022).

Relaves mineros- Los estanques de relaves son depresiones que se utilizan para almacenar los desechos de la mina hasta que los metales pesados se hayan asentado o el cianuro haya sido neutralizado, momento en el que el agua se devuelve al molino o se limpia antes de verterla en la cuenca circundante (Parra, 2022).

Eficiencia de remoción- Es la relación entre recursos y objetivos, el aprovechamiento de los recursos al máximo de su capacidad, optimizando la utilización en menor cantidad de este al cumplir los objetivos (Valencia, 2024).

Efluente- Líquidos contaminantes liberados como subproductos de una operación de fabricación o procesamiento (Flores, 2023).

Efluente minero-. Incluye cualquier descarga de un trabajo, excavación, instalación de procesamiento de minerales o sistema de tratamiento de aguas que se produzca de forma regular o estacional (Flores, 2023).

Metales pesados-. Los metales incluyen cualquier elemento químico con una alta densidad y un perfil de toxicidad de baja concentración (Flores, 2023).

Cadmio-. Es un metal pesado que se encuentra en el medio ambiente, principalmente como subproducto en la minería de zinc, plomo y cobre. Es un metal de color plateado y blando que se utiliza en diversas industrias, pero también es altamente tóxico y peligroso para la salud y el medio ambiente (Valencia, 2024).

Zinc-. Es un metal esencial para la vida humana y uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Se caracteriza por ser de color blanco azulado y relativamente resistente a la corrosión. Tiene diversas aplicaciones industriales, biológicas y tecnológicas (Valencia, 2024).

Reactivo AR 1849-. Es un compuesto químico utilizado específicamente para la remoción de metales pesados en soluciones acuosas o aguas residuales. Se trata de un reactivo que facilita la precipitación de metales como el plomo, mercurio, cadmio, zinc, entre otros, convirtiéndolos en formas insolubles que luego pueden ser eliminadas mediante filtración o sedimentación.

Límites máximos permisibles-. Los efluentes líquidos de las operaciones de minería y metalurgia se miden en función de la concentración o grado de elementos, compuestos o criterios físicos, químicos y biológicos que, cuando se superan, causan o pueden causar daños a la salud, el bienestar humano y el medio ambiente. El Ministerio del Medio Ambiente y los organismos que integran el sistema de gestión ambiental insisten en que se cumpla (Parra, 2022).

Estándar de Calidad Ambiental-. Es la cantidad utilizada para determinar qué cantidad de cierto elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica está presente en un volumen determinado de aire, agua o suelo, en su estado actual como órgano de

recepción, que no representa una amenaza para la salud humana o ambiental (Parra, 2022).

2.3. MARCO NORMATIVO

Ley General del Ambiente.

Es la principal norma marco para la protección del ambiente en Perú. Esta ley establece principios para la gestión ambiental, incluyendo la protección de los recursos hídricos de la contaminación por sustancias peligrosas, como los metales pesados.

Norma de Calidad Ambiental para Agua (Estándares de Calidad Ambiental - ECA)

El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en Perú, que incluyen límites permisibles para la presencia de metales pesados en cuerpos de agua destinados a distintos usos, como consumo humano, riego, recreación, y protección de la vida acuática.

Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes minero metalurgicos

Establece los LMP para la actividad minera, regulando específicamente las concentraciones de metales pesados en los efluentes mineros; Algunos LMP para los metales pesados en efluentes mineros son: Plomo (Pb): 0.2 mg/L; Mercurio (Hg): 0.002 mg/L; Cadmio (Cd): 0.1 mg/L; Arsénico (As): 0.5 mg/L; Cromo total (Cr): 1.0 mg/L

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

Mediante el presente Decreto Supremo se aprueban los Límites Máximos Permisibles o LMP para la liberación de efluentes líquidos provenientes de operaciones mineras y metalúrgicas. Todas las operaciones mineras y metalúrgicas que se realicen en suelo nacional están sujetas a esta norma.

Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM (Reglamento del Proceso de Adecuación para el Cumplimiento de los LMP de las Actividades Mineras)

Establece el proceso de adecuación de las empresas mineras para cumplir con los LMP de los metales pesados en sus efluentes. Este reglamento busca garantizar que las

operaciones mineras cumplan con los estándares ambientales de manera progresiva, para evitar la contaminación por metales pesados en cuerpos de agua.

Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Decreto Supremo N° 001-2010-AG)

Este reglamento detalla los procedimientos y los requisitos para el manejo y uso del agua, así como las condiciones que deben cumplir los vertimientos industriales y domésticos en los cuerpos de agua naturales, incluyendo la obligación de reducir la contaminación por metales pesados.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La eficiencia de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas lograra una remoción entre el 80 % y 90 %

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ❖ La concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas superan los límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos
- ❖ La dosis óptima del reactivo AR 1849 es de 0.5 ml, donde ocurra la mejor remoción del cadmio y zinc en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas
- ❖ El porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas supera el 90 %.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La unidad minera las Águilas está ubicada en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa, departamento de Puno, en las coordenadas UTM; 309415.84 m E y 8330731.82 m S, a una altitud de 4,300 a 4,700 m.s.n.m.



Figura 03: Ubicación de la zona en estudio

Fuente: Obtenido del Google earth

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Una población es una colección de elementos que tienen características similares

(Fernandez & Baptista, 2018); por ello la población en estudio está representada como el efluente del drenaje ácido de minas proveniente de las actividades de la unidad minera las Águilas.

3.2.2. MUESTRA

Una muestra es un subconjunto de la población que la representa (Fernandez & Baptista, 2018); por ello se ha seguido un muestreo a juicio del investigador, por lo que la muestra en estudio está representada por 10 litros del efluente proveniente de las actividades de la unidad minera las Águilas, mediante la técnica de muestreo simple

3.3. METODOS Y TECNICAS

3.3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Dado que esboza una relación causal y no sólo describe o aborda el problema, sino que también busca sus causas, el tipo de investigación que se empleó en la elaboración de este estudio es **EXPLICATIVO** (Fernandez & Baptista, 2018).

3.3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es **APLICADA**, porque es un tipo de investigación orientada a resolver problemas específicos o prácticos, enfocándose en la implementación de los conocimientos teóricos para resolver problemas concretos en diversos campos, como la industria, la medicina, la educación, la tecnología, entre otros (Fernandez & Baptista, 2018).

3.3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Debido a que las variables fueron modificadas intencionalmente en la investigación y solo se observaron eventos en el área de estudio y alrededores para evaluarlas, el diseño es **EXPERIMENTAL** (Fernandez & Baptista, 2018).

3.3.4. MÉTODO

Se empleó el método **DEDUCTIVO**

Según Colomé & Femenia (2018), es un enfoque de razonamiento lógico en el que se parte de principios o premisas generales para llegar a conclusiones específicas. Es un método tradicionalmente asociado con la lógica formal y las matemáticas, aunque también se aplica en diversas áreas del conocimiento científico

3.3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas

La **técnica de recolección de datos** de esta investigación son aquellos procedimientos que son empleados para regular y controlar todo el proceso de la investigación (Fernandez & Baptista, 2018), en este estudio, se empleó las siguientes técnicas:

- Observación in situ
- Desarrollo de pruebas experimentales.
- Análisis de laboratorio

Instrumentos

Es fundamental tener en cuenta que cada enfoque de investigación tiene su propio **instrumento**. Por ejemplo, el formulario de recogida de datos es un instrumento utilizado en la técnica de observación, mientras que el cuestionario es un instrumento utilizado en la técnica de encuesta (Fernandez & Baptista, 2018); En este estudio se empleó los siguientes instrumentos para recopilar información:

- Ficha de observación
- Certificado de análisis de laboratorio

3.3.6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Metodología para el objetivo específico N° 01:

Determinar la concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas

Para el cumplimiento del presente objetivo se siguieron las consideraciones descritas por el protocolo de monitoreo de calidad de efluentes y aguas superficiales en las actividades minero-metalúrgicas (2011), el cual indica lo siguiente

El punto de monitoreo inicial, deberá estar ubicado preferiblemente en una zona que evite la interferencia de sólidos, ante ello se sugiere ubicar este punto generalmente después de la cámara de rejas de la PTAR u otro similar.

- a) Toma de muestra-**. Según el protocolo; establece que el punto de monitoreo, deberá ser detectado y reconocido claramente, de modo que permita su ubicación exacta en

los muestreos.

Dicho punto donde se tomó las muestras del drenaje ácido de minas cumplieron las siguientes características (**anexo 2**):

- Se utilizaron guantes quirúrgicos y botas de goma al momento de la toma de muestras.
- Permitir que la muestra refleje con precisión el caudal.
- Estar situada cerca del punto de aforo, idealmente, o en un lugar con mayor mezcla.
- La ubicación de la muestra para la medición del afluente estuvo anterior a cualquier toma de agua de recirculación.
- Debe ser accesible con facilidad y seguridad, evitando el barro, el follaje espeso y los caminos empinados y rocosos.
- Los recipientes de las muestras fueron limpiados dos o tres veces con el agua que se vaya a recoger para eliminar posibles contaminantes. El agua de enjuague fue desechada a continuación.
- Deberán contar con un rotulado para su identificación incluyendo la denominación del punto de monitoreo.

Además, se tomaron muestras in situ, siendo en este caso para el análisis del pH, temperatura empleando un multiparámetro, de manera directa con el volumen de agua que se tomó para evitar generar una remoción de sedimentos.

b) Preservación de muestras- La muestra recolectada se conservó en una caja térmica (cooler), aislada de la influencia de la luz solar y con disponibilidad de espacio para colocar el material refrigerante hasta su traslado al laboratorio.

c) Parámetros a evaluar- Con respecto a los parámetros a evaluar; se realizó la determinación del pH en campo y el análisis del cadmio y zinc en el laboratorio; tomando para ello un muestreo simple; para finalmente compararlas con los límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos del MINAM (DS N° 010-2010-MINAM, 2010)

Metodología para el objetivo específico N° 02:

Determinar dosis óptima del reactivo AR 1849, donde ocurra la mejor remoción del cadmio y zinc en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas

Para el cumplimiento del presente objetivo igualmente al anterior caso se tomaron muestras de drenaje ácido de minas mucho mayores para el proceso experimental; igualmente aplicando el protocolo de monitoreo de calidad de efluentes y aguas superficiales en las actividades minero-metalúrgicas (2011), para posterior desarrollar el proceso experimental.

a) Preparación del reactivo AR 1849-. Para preparar el reactivo AR 1849 y lograr la remoción del cadmio y zinc, se realizó tomando de referencia las consideraciones descritas por Quispe & Torres (2024), por ello, se ha considerado cinco concentraciones que fueron elaboradas en distintos vasos precipitados de capacidad de 1050 mL.

Por lo que se utilizaron las siguientes concentraciones:

- Se midió 15 gr. del reactivo AR 1849 y se llenó con 100 mL de agua destilada

b) Determinación de la dosis óptima del reactivo AR 1849-. En vasos precipitados de 1050 mL, se dispuso 1000 mL de DAM. Luego se añadió el reactivo AR 1849 a diferentes concentraciones, tal cual como se indica:

- **0.1 ml**
- **0.2 ml**
- **0.3 ml**
- **0.4 ml**
- **0.5 ml**

Agitándose a 50 RPM por un periodo de tiempo de 20 minutos con el agitador magnético, para que presente una mejor homogenización.

Seguidamente se empleó la prueba de jarras, para conocer qué dosis del reactivo, presenta mejor remoción del cadmio y zinc; por ello se utilizaron cinco jarras, cada una fue dosificada con concentraciones de 0.1 ml, 0.2 ml, 0.3 ml, 0.4 ml, y 0.5 ml del reactivo más una muestra control con 3 repeticiones.

Finalmente luego de la prueba de jarras se analizó el pH, temperatura y contenido de cadmio y zinc presente en el agua tratada; de las dosificaciones expuestas anteriormente; para conocer cuál de ellas presenta una mejor remoción.

Metodología para el objetivo específico N° 03:

Determinar el porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas

Finalmente, luego de los análisis del pH, Cadmio y Zinc, se aplicó la siguiente fórmula para conocer el porcentaje de remoción de dichos parámetros por parte del reactivo AR 1849.

$$E = (C_o - C) / C_o * 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción

C: Cantidad inicial de carga contaminante

Co: Cantidad final de carga contaminante

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 03: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	UND	METODOLOGÍA
A				
<u>Independiente</u>	Índice de acidez	Escala de pH 0-14	Und.	
Reactivo AR		0.1	ml	<u>Diseño de</u>
1849		0.2	ml	<u>investigación</u>
	Dosis del	0.3	ml	Experimental
	reactivo	0.4	ml	<u>Nivel de</u>
		0.5	ml	<u>investigación</u>
<u>Dependiente</u>				Explicativo
	Concentración de metales pesados	Cadmio Zinc	mg/L mg/L	<u>Tipo de</u>
		Dosis de 0.1 ml del reactivo	%	<u>investigación</u>
	Porcentaje de remoción	Dosis de 0.2 ml del reactivo	%	Aplicativo
Remoción del cadmio y zinc	remoción	Dosis de 0.3 ml del reactivo	%	
		Dosis de 0.4 ml del reactivo	%	
		Dosis de 0.5 ml del reactivo	%	

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Para evaluar los datos se utilizó una prueba de normalidad de **Shapiro-Wilks**, que se utiliza para muestras temporales de menos de 50 unidades y permite averiguar si las variables tienen una distribución normal o no normal.

Se utilizó una prueba estadística **ANOVA** de un factor para determinar si los parámetros estudiados habían disminuido. Para demostrar que existe una diferencia significativa entre los datos recogidos antes y después del tratamiento, el valor p -que actúa como prueba de decisión en este análisis- debe ser inferior a 0,05.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con los datos obtenidos en el laboratorio; se procedió a la elaboración de los resultados y su consecuente análisis e interpretación en base a los objetivos planteados en la presente investigación.

4.1. DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DEL CADMIO Y ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS

En la tabla 04, se muestra que la concentración inicial de cadmio (0.69 mg/L) la cual excede ampliamente el LMP de 0.05 mg/L, mientras que la de zinc (1.61 mg/L) superando ligeramente el LMP de 1.5 mg/L; además, el pH del efluente (6.05) está dentro del rango permitido (6-9), con estos resultados se puede afirmar que estos valores superan los límites máximos permisibles determinados por el DS N° 010-2010-MINAM; en cuanto a la temperatura, no presenta problemas, ya que es menor al límite general de 35 °C para efluentes industriales.

Tabla 04: Concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales generada por la unidad minera las Águilas

Parámetros	Unidad	Concentración inicial	LMP
Cadmio	mg/L	0.69	0.05
Zinc	mg/L	1.61	1.50
Temperatura	°C	9.90	35 °C
pH	-	6.05	6 a 9

En la figura 4, se muestra la concentración del cadmio y zinc en las aguas residuales generada por la unidad minera las Águilas, indicando que la presencia de cadmio y zinc se exhibe en concentraciones altas, con un pH ligeramente ácido y temperatura baja, lo que sugiere que los metales se mantienen en formas solubles y bioactivas, potenciando su toxicidad. Según Huamán et al. (2024), el cadmio es tóxico para los organismos acuáticos y puede causar bioacumulación, afectando las cadenas tróficas, mientras que el zinc, aunque esencial en pequeñas cantidades, es tóxico en altas concentraciones, alterando funciones biológicas y ecosistemas acuáticos.

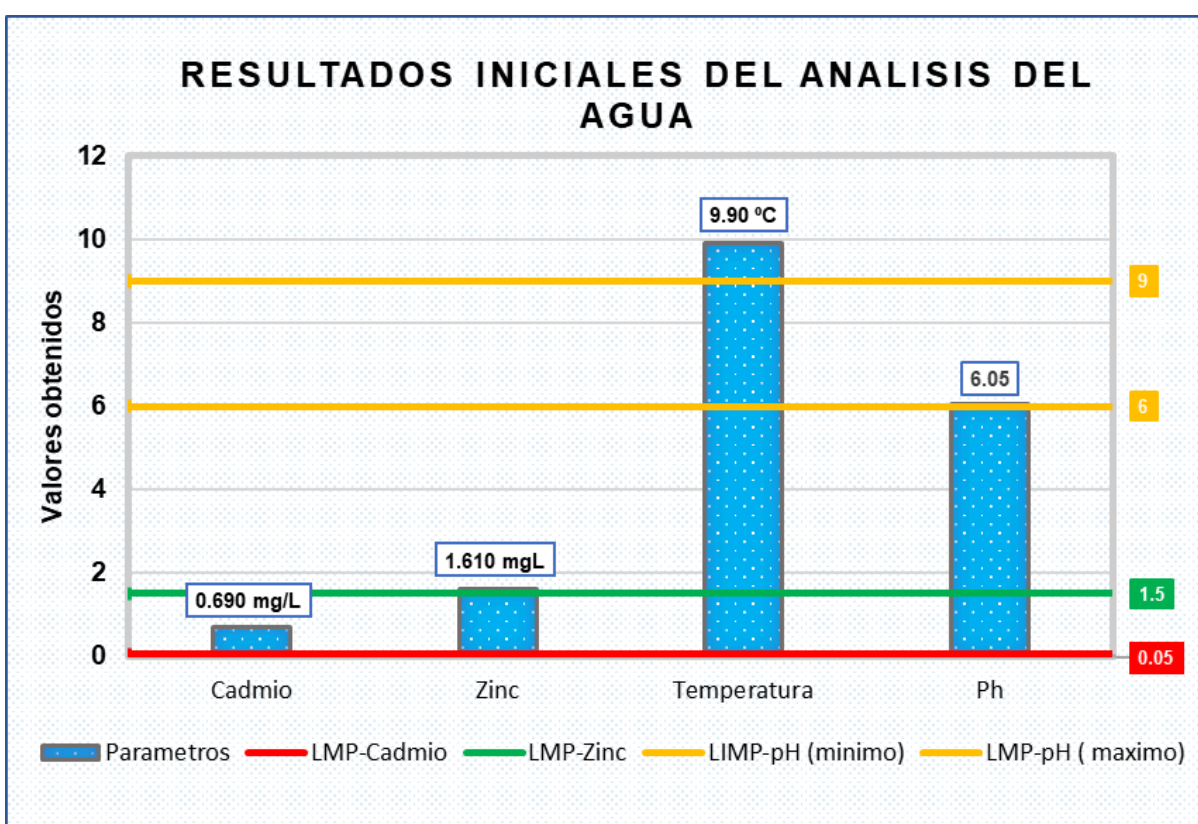


Figura 04: Concentración del cadmio y zinc en las aguas residuales generada por la unidad minera las Águilas

4.2. DETERMINAR DOSIS ÓPTIMA DEL REACTIVO AR 1849, DONDE OCURRA LA MEJOR REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS

Para determinar la dosificación adecuada y su capacidad para reducir las concentraciones de Cd y Zn se empleó policloruro de aluminio y floculante AR-1849 mediante el proceso de coagulación-floculación y la precipitación, para ello se llevaron a cabo pruebas experimentales bajo las condiciones operativas de agitación rápida de 100 RPM durante 3 minutos, seguida de agitación lenta a 50 RPM durante 20 minutos.

4.2.1. REMOCIÓN DEL CADMIO

En la tabla 05, se presenta los resultados de un total de 18 réplicas experimentales, distribuidas en 6 dosis de floculante (0.0 ml, 0.1 ml, 0.2 ml, 0.3 ml, 0.4 ml y 0.5 ml), con 3 repeticiones por cada dosis; en la que, se observó una disminución significativa en la concentración de cadmio a medida que va aumentando la dosis, lo que demuestra que la aplicación del reactivo AR-1849 tiene la capacidad de interactuar con los iones metálicos, reduciendo su solubilidad y facilitando la formación de flóculos; además, la agitación constante a 50 RPM permitió una mejor distribución del floculante, optimizando su acción sobre los contaminantes.

Tabla 05: Concentración final del cadmio a diferentes dosis del reactivo AR 1849

Ensayo	Muestra de agua	Dosis (ml)	Cadmio (mg/L)	total LMP (mg/L)
	R0	0.0	0.69	0.05
Control	R0	0.0		
	R0	0.0		
	R1	0.1	0.52	0.05
Ensayo 1	R2	0.1		
	R3	0.1		
	R1	0.2	0.33	0.05
Ensayo 2	R2	0.2		
	R3	0.2		
	R1	0.3	0.09	0.05
Ensayo 3	R2	0.3		
	R3	0.3		
	R1	0.4	0.05	0.05
Ensayo 4	R2	0.4		
	R3	0.4		
	R1	0.5	0.03	0.05
Ensayo 5	R2	0.5		
	R3	0.5		

Nota. R: repetición de la muestra.

En la figura 05, se presentan los resultados, donde los primeros tres ensayos muestran concentraciones de cadmio de 0.52 mg/L, 0.33 mg/L y 0.09 mg/L, todas superando el LMP en cualquier momento de 0.05 mg/L; a medida que se incrementa la dosis de floculante AR-1849, la concentración de zinc disminuye significativamente, en los ensayos 4 y 5, la concentración disminuyó a 0.60 mg/L y 0.07 mg/L, logrando una remoción casi total del metal pesado en comparación con la muestra inicial de 0.89 mg/L,

cumpliendo con los requisitos ambientales para descargas de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicos (D.S. N.º 010-2010-MINAM) para la unidad minera Las Águilas.

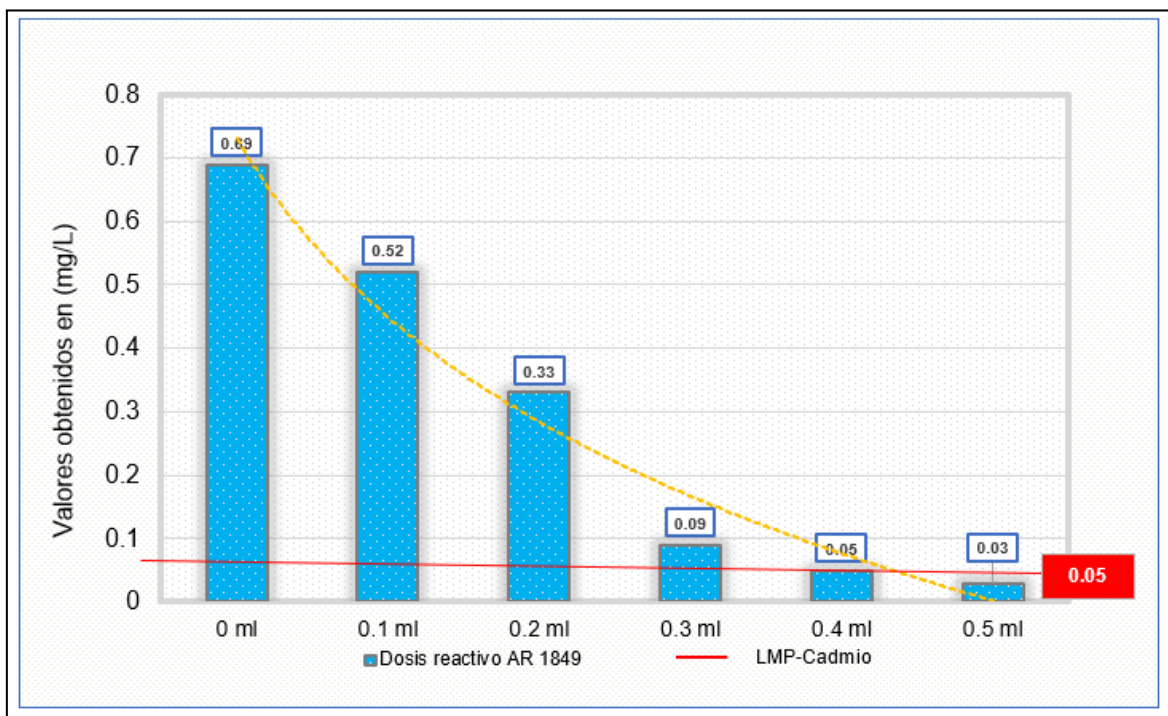


Figura 05: Concentración final del cadmio a diferentes dosis del reactivo AR 1849

4.2.2. REMOCIÓN DEL ZINC

En la tabla 06, se presenta los resultados de la concentración final del zinc a diferentes dosis del reactivo AR 1849, en donde se observó una disminución significativa en la concentración de zinc a medida que va aumentando la dosis del reactivo, lo que demuestra que la aplicación del reactivo AR-1849 tiene la capacidad de interactuar con los iones metálicos, reduciendo su solubilidad y facilitando la formación de flóculos; además, la agitación constante a 50 RPM permitió una mejor distribución del floculante, optimizando su acción sobre los contaminantes.

Tabla 06: Concentración final del zinc a diferentes dosis del reactivo AR 1849

Ensayo	Muestra de agua	Dosis (ml)	Zinc (mg/L)	LMP (mg/L)
Caracterización	R0	0.0	2.89	1.50
	R0	0.0		
	R0	0.0		
Ensayo 1	R1	0.1	2.14	1.50
	R2	0.1		
	R3	0.1		
Ensayo 2	R1	0.2	1.45	1.50
	R2	0.2		
	R3	0.2		
Ensayo 3	R1	0.3	1.02	1.50
	R2	0.3		
	R3	0.3		
Ensayo 4	R1	0.4	0.60	1.50
	R2	0.4		
	R3	0.4		
Ensayo 5	R1	0.5	0.07	1.50
	R2	0.5		
	R3	0.5		

Nota. R: repetición de la muestra.

En la figura 06, se presentan los resultados, donde los primeros tres ensayos muestran concentraciones de e zinc de 2.89 mg/L y 2.14 mg/L, todas superando el LMP en cualquier momento de 1.5 mg/L; a medida que se incrementa la dosis de floculante AR-1849, la concentración de zinc disminuye significativamente, en los ensayos 3, 4 y 5, la concentración disminuyó a 1.45 mg/L, 0.05 mg/L y 0.03 mg/L, logrando una remoción casi total del metal pesado en comparación con la muestra inicial de 0.69 ml/L,

cumpliendo con los requisitos ambientales para descargar de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicos (D.S. N.º 010-2010-MINAM) para la unidad minera Las Águilas.

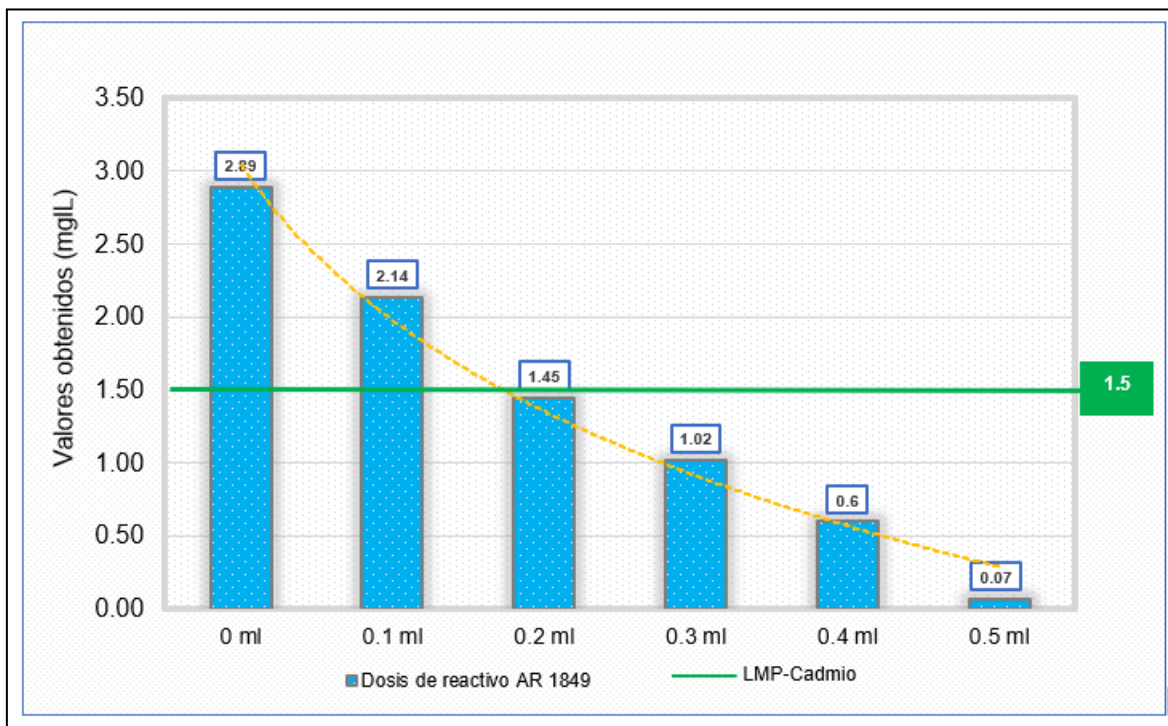


Figura 06: Concentración final del zinc a diferentes dosis del reactivo AR 1849

4.3. DETERMINAR EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC APLICANDO EL REACTIVO AR 1849 EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS

4.3.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL CADMIO

En la tabla 07, se presenta el porcentaje de remoción del cadmio aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849, indicando que de los resultados obtenidos en el análisis realizado para cada ensayo, presentan una remoción del 24.64 %, 52.17 % y 86.96 % para las 3 primeras dosis de la concentración de cadmio, aunque aún no cumplen con los límites establecidos debido a que la concentración final seguía siendo alta; en cambio, los ensayos 4 y 5 muestran una remoción eficiente del 92.75 % y 95.65 %, logrando una reducción casi total del cadmio, cumpliendo con lo indicado por el LMP.

Tabla 07: Porcentaje de remoción del cadmio aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849

Ensayos	Dosis de reactivo AR 1849 (ml)	Conc. inicial	Conc. Final	% de remoción
Ensayo 1	0.10	0.69	0.52	24.64
Ensayo 2	0.20	0.69	0.33	52.17
Ensayo 3	0.30	0.69	0.09	86.96
Ensayo 4	0.40	0.69	0.05	92.75
Ensayo 5	0.50	0.69	0.03	95.65

De acuerdo con la figura 07, se puede observar que la máxima precipitación del cadmio, con una concentración inicial de 0.69 mg/L, descendió hasta 0.03 mg/L, logrando un porcentaje de remoción del 96.65 %; esto indica que el ensayo más eficiente consistió en una concentración de 0.5 ml del floculante (AR 1849) en la prueba de jarras, con agitación lenta a 50 RPM durante 20 minutos.

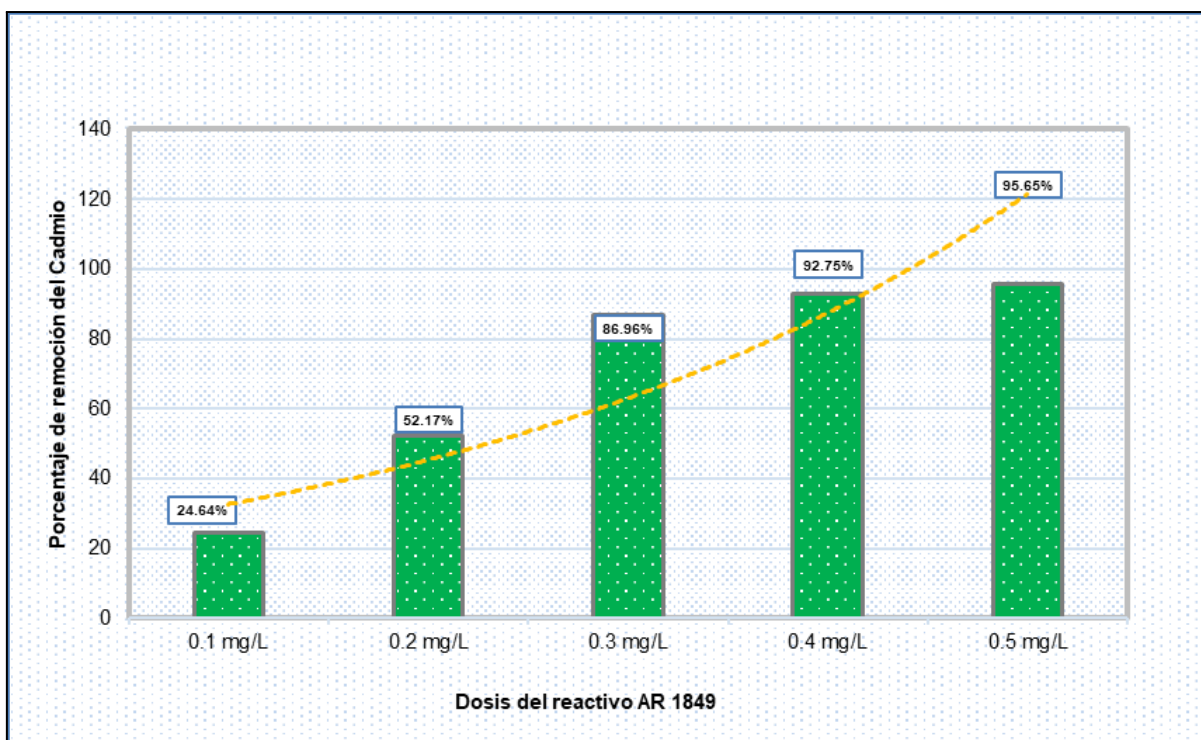


Figura 07: Porcentaje de remoción del cadmio aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849

4.3.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL ZINC

En la tabla 08, se presenta el porcentaje de remoción del zinc aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849; indicando que en los primeros tres ensayos muestran porcentajes de remoción de 25.95 %, 49.89 % y 64.71 %, de la concentración de zinc, aunque aún no cumplen con los límites establecidos debido a que la concentración final seguía siendo alta; en cambio, los ensayos 4 y 5 muestran una remoción eficiente del 79.24 % y 97.58 %, logrando una reducción casi total del zinc, cumpliendo con lo indicado por el LMP.

Tabla 08: Porcentaje de remoción del zinc aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849

Ensayos	Dosis de reactivo 1849 (ml)	de Conc. AR inicial	Conc. Final	% de remoción
Ensayo 1	0.10	2.89	2.14	25.95
Ensayo 2	0.20	2.89	1.45	49.83
Ensayo 3	0.30	2.89	1.02	64.71
Ensayo 4	0.40	2.89	0.60	79.24
Ensayo 5	0.50	2.89	0.07	97.58

De acuerdo con la figura 08, se puede observar que la máxima precipitación del zinc, con una concentración inicial de 2.89 mg/L, descendió hasta 0.07 mg/L, logrando un porcentaje de remoción del 97.58 %; esto indica que el ensayo más eficiente consistió en una concentración de 0.5 ml. del floculante (AR 1849) en la prueba de jarras, con agitación lenta a 50 RPM durante 20 minutos.

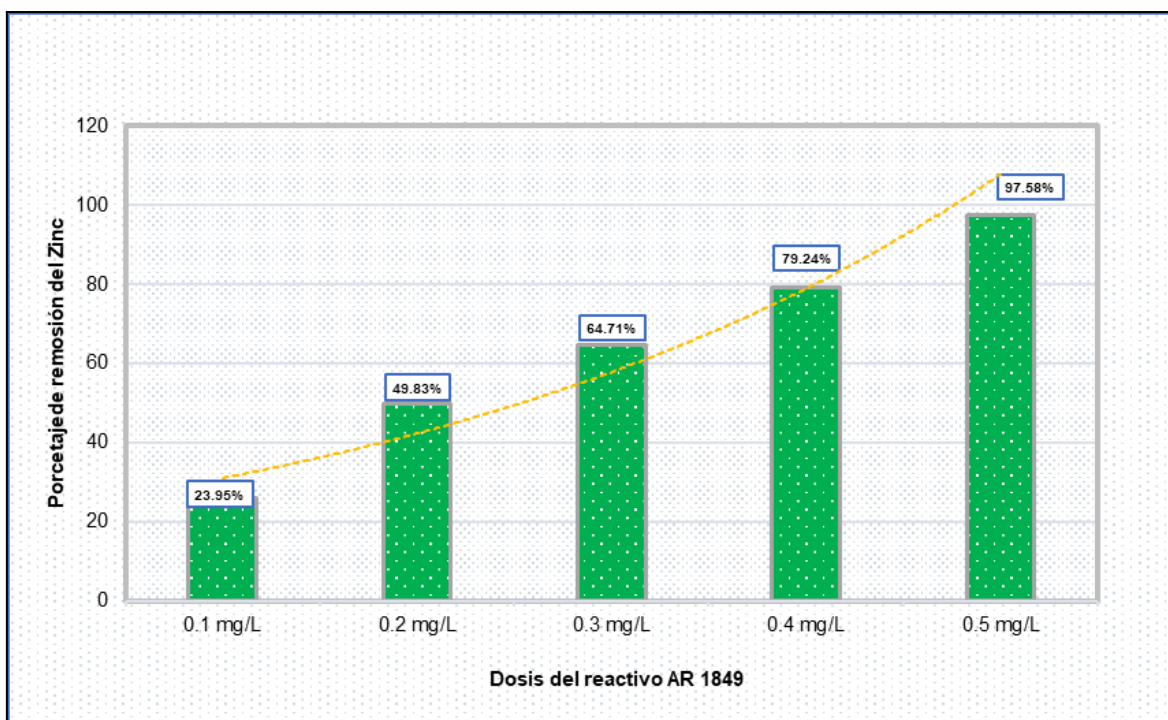


Figura 08: Porcentaje de remoción del zinc aplicando diferentes dosis del reactivo AR 1849

4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1.1. Comprobación de la hipótesis específica 1

H_a : La concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas **superan** los límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos

H_o : La concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas **no superan** los límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos

De acuerdo a lo expuesto en el apartado 4.1. donde se indica que las concentraciones de cadmio y zinc de las aguas residuales generadas por la unidad minera las Águilas fueron de 0.69 mg/L para cadmio, 2.89 mg/L para zinc, superando los límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos; la cual genera una contaminación directa al cuerpo receptor (Río Chaquilla), y por ende una afectación a la

flora y fauna colindante, y la salud de los que la consumen; por ende se acepta la hipótesis alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_0 .

4.4.1.2. Comprobación de la hipótesis específica 2

H_a : La dosis óptima del reactivo AR 1849 **es** de 0.5 ml, donde ocurra la mejor remoción del cadmio y zinc en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas

H_0 : La dosis óptima del reactivo AR 1849 **no es** de 0.5 ml, donde ocurra la mejor remoción del cadmio y zinc en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas

En la tabla 09, se aprecia el análisis de varianza (ANOVA) para la dosis óptima del reactivo AR 1849, indicando que para efectos de los tratamientos es altamente significativo (p -valor $<$ 0.05), confirmando que el concentración final del cadmio y zinc en cada dosis del reactivo AR 1849 varía considerablemente; con un coeficiente de variación de 29.43 %, lo que indica que el trabajo de investigación fue adecuadamente conducido.

Tabla 09: Análisis de varianza (ANOVA) para la dosis óptima del reactivo AR 1849

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	97.34	6	32.45	6.65	0.0145
Error	39.02	8	4.88		
Total	136.36	6			

C.V. = 29.43 %

En la tabla 10, se aprecia la prueba de Tukey para la concentración final de cadmio del reactivo AR 1849, los resultados muestran que presenta una reducción de 0.69 mg/L para el primer ensayo (0.1 ml del reactivo), siendo este el contenido más alto, no obstante, el ensayo 5 (0.5 ml del reactivo), presentó una concentración final del 0.03 mg/L siendo la cantidad estadísticamente inferior a los demás ensayos.

Tabla 10: Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la concentración final de cadmio del reactivo AR 1849.

Ensayos	Media	N° de repeticiones	SIG. ≤ 0.05
Control	0.69	3	a
Ensayo 1	0.52	3	a
Ensayo 2	0.33	3	b
Ensayo 3	0.09	3	b
Ensayo 4	0.05	3	c
Ensayo 5	0.03	3	c

En la tabla 11, se aprecia la prueba de Tukey para la concentración final de zinc del reactivo AR 1849, los resultados muestran que presenta una reducción de 2.89 mg/L para el primer ensayo (0.1 ml del reactivo), siendo este el contenido más alto, no obstante, el ensayo 5 (0.5 ml del reactivo), presentó una concentración final del 0.07 mg/L siendo la cantidad estadísticamente inferior a los demás ensayos.

Tabla 11: Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la concentración final de zinc del reactivo AR 1849.

Ensayos	Media	N° de repeticiones	SIG. ≤ 0.05
Control	2.89	3	a
Ensayo 1	2.14	3	a
Ensayo 2	1.45	3	b
Ensayo 3	1.02	3	b
Ensayo 4	0.60	3	b
Ensayo 5	0.07	3	c

En base a la prueba de tukey del análisis de varianza, se muestra que el ensayo 5 en específico con el empleo de 0.5 ml del reactivo AR 1849, presentó la mejor reducción del

cadmio y zinc, por ende se acepta la hipótesis alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_o .

4.4.1.3. Comprobación de la hipótesis específica 3

H_a : El porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas **supera** el 90 %

H_o : El porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas **no supera** el 90 %

En la tabla 12, se demuestra la prueba de hipótesis de análisis de la Variancia (ANOVA) para el porcentaje de remoción de cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849, indicando que se ha obtenido un P-valor de 0.000 para todos las diferente dosis del reactivo AR 1849 ; por ende, se puede decir que existe variación significativa del cadmio y zinc entre el inicial y final empleando el reactivo, por ende, la hipótesis alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_o .

Tabla 12: Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849

ANOVA								
Ensayos				Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Ensayo 1	0.1 ml del reactivo	Entre	grupos	1,254	7	,483	.	,000
		Dentro de	grupos	,000	0	.		
	Total			1,248	7			

Ensayo 2	0.2 ml	Entre	,023	7	,011	.	,000
		del grupos					
		reactivo	Dentro de	,000	0	.	
		grupos					
		Total	,023	7			
Ensayo 3	0.3 ml	Entre	2,143	7	,323	.	,000
		del grupos					
		reactivo	Dentro de	,000	0	.	
		grupos					
		Total	2,453	7			
Ensayo 4	0.4 ml	Entre	,025	7	,113	.	,000
		del grupos					
		reactivo	Dentro de	,000	0	.	
		grupos					
		Total	,427	7			
Ensayo 5	0.5 ml	Entre	1,157	7	,156	.	,000
		del grupos					
		reactivo	Dentro de	,000	0	.	
		grupos					
		Total	1,134	7			

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la investigación muestran que las aguas residuales de la Unidad Minera Las Águilas contienen 0.69 mg/L de cadmio y 2.89 mg/L de zinc, con un pH de 6.05, superando los límites establecidos por la normativa (D.S. N.º 010-2010-MINAM); así mismo las dosis óptima fue de 0.5 ml de reactivo AR 1849 donde se logró una remoción efectiva superior al 90 %, reduciendo la concentración de cadmio a 0.03 mg/L y la de zinc a 0.07 mg/L.

Con respecto a los resultados de Castillo & Pulido (2024), no coinciden; debido a que lo realizó en el depósito de relave N°6 de Mahr Túnel, donde usó como regulador de pH la soda cáustica a 26.3 ppm para alcanzar un pH de 8.6; así también se obtuvo la dosis de 65.3 ppm de hipoclorito de calcio y una dosis de cloruro férrico de 10 – 40 ppm; concluye que la combinación de soda cáustica e hipoclorito de calcio logró reducir los metales a niveles inferiores a los LMP establecidos por el D.S. N.º 010-2010-MINAM. Por otro lado, con los resultados de Jurado (2022), tampoco son similares donde incluyó los tratamientos de neutralización, aireación, coagulación, decantación y filtración, logrando una remoción del 100 % de hierro y arsénico, y casi 100 % de cobre, manganeso y aluminio. También se alcanzó un pH final de 8.42, cumpliendo con los límites máximos permisibles (LMP) de vertido y demostrando una remoción efectiva de metales y neutralización de la acidez. Al comparar estos estudios, se observa que las metodologías utilizadas en cada caso, aunque diferentes en términos de reactivos y técnicas sugiere hipoclorito de calcio como de reactivo AR 1849 demuestra ser efectivo para la remoción de metales pesados en aguas residuales mineras, siempre que se ajuste la dosis y el tratamiento a las características del efluente en cuestión.

Así mismo con los resultados de Quispe & Torres (2024), tampoco se asemejan; porque empleo mucílago de cactus (nopal) para la remoción de metales pesados en las aguas de la laguna de la fundición de Cerro de Pasco, logrando reducciones significativas en la concentración de aluminio de 1.966 mg/l a 1.72 mg/l, cobre de 0.364 mg/l a 0.28 mg/l, hierro de 8.844 mg/l a 6.788 mg/l, plomo de 0.554 mg/l a 0.515 mg/l y zinc de 1.856 mg/l a 1.538 mg/l y una reducción en la turbidez de 320,00 NTU a 145,00 NTU, por otro lado con los resultados de Valencia (2024), también no se asemejan; en donde empleó lechada de cal al 20 % para tratar aguas ácidas de mina, obteniendo resultados igualmente positivos al reducir los niveles de cobre (0,007 mg/L), hierro (0,02 mg/L) y zinc (0,021 mg/L) dentro de los límites máximos admisibles establecidos por la normativa. Ambos estudios demuestran enfoques efectivos, aunque el primero emplea un tratamiento natural y el segundo utiliza una metodología convencional.

De igual forma con respecto a los resultados de Eloisa (2023), no son similares, en donde evaluó la eficacia de la cal como agente neutralizante en una mezcla de agua ácida (AA) y agua residual municipal (ARM) en la localidad de Quiulacocha, logrando reducciones destacadas de cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn) en un 93,04 %, 99,95 % y 99,95 %, mientras que Colque & Murrugarra (2023), cuyos resultados encontrados tampoco son similares, donde usaron 10, 20 y 30 g de dolomita como un tratamiento económico para remediar el drenaje ácido de mina en Hualgayoc el tratamiento con 30 g de dolomita podría reducir el As en un 98,64 %, el Cu en un 95,25 %, el Cd en un 98,39 %, el Pb en un 96,40 %, el Fe en un 99,87 % y el Zn en un 84,65 %, además, el pH pudo elevarse a un valor neutro de 7,63; ambos enfoques destacan la importancia de utilizar tecnologías de bajo costo y alta eficiencia para el tratamiento de aguas contaminadas.

Y finalmente con respecto a los resultados de Aponte (2020), presenta cierta similitud, en donde empleo neutralización y coagulación a escala de laboratorio, logrando eliminaciones de metales superiores al 99,5 % y produciendo lodos estables y de alta densidad, lo que facilita su aplicación a gran escala y es beneficioso medioambientalmente, en cambio, Huanca (2023), utilizó lechada de cal al 1 % para neutralizar el DAM, obteniendo una remoción eficaz de metales como aluminio, cadmio y zinc, aunque con menor eficiencia en algunos metales como el cobre; ambos métodos lograron cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP), pero el tratamiento con neutralización y coagulación parece ofrecer mayores beneficios a nivel medioambiental y de escalabilidad, mientras que el tratamiento con lechada de cal es una alternativa convencional pero igualmente efectiva.

CONCLUSIONES

PRIMERA: El proceso de coagulación-floculación utilizando el reactivo AR 1849 resulta ser una solución eficaz y eficiente para el tratamiento de las aguas residuales de la Unidad Minera Las Águilas, logrando una notable remoción de cadmio y zinc; este tratamiento cumple con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la normativa del D.S. N.º 010-2010-MINAM

SEGUNDA: El agua residual industrial proveniente la unidad minera Las Águilas sobrepasa los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM; demostrando que los parámetros en estudio mostraron resultados de Cadmio= 0.69 mg/L, Zinc= 2.89 mg/L, Temperatura de 9.9 °C y un pH ácido de 6.05; debido a que existe el vertido sin un tratamiento adecuado del drenaje ácido de minas (DAM) hacia el cuerpo receptor.

TERCERA: La dosis óptima del reactivo AR 1849 para la remoción del cadmio y zinc en las aguas residuales de la Unidad Minera Las Águilas es de 0,5 ml, mediante agitación rápida a 100 RPM durante 3 minutos, seguida de una agitación lenta a 50 RPM durante 20 minutos, para permitir la floculación.

CUARTA: Los ensayos indican que el mejor porcentaje de remoción se logra con una dosis de 0.5 ml de reactivo AR 1849, alcanzando un 95.65 % de remoción de cadmio con una concentración final de 0.03 mg/L, cumpliendo con el LMP de 0.05 mg/L; de manera similar, para el zinc se obtuvo un 97.58 % de remoción, con una concentración final de 0.07 mg/L.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda que futuras investigaciones basadas en esta investigación incluyan la evaluación de más parámetros, la aplicación del tratamiento en otros tipos de aguas, el control de otros metales a coagular-flocular y la exploración de métodos alternativos de coagulación-floculación

SEGUNDA: Se recomienda considerar la dosis del coagulante-floculante a emplear, debido a que si se excede este dificultará el tratamiento e impedirá la formación de flocs.

TERCERA: Se recomienda realizar más repeticiones para cada muestra, ya que esto ayudaría a reducir el porcentaje de error y mejorar la confiabilidad de los resultados estadísticos.

CUARTA: Se recomienda optimizar el proceso de coagulación-floculación, para invertirlo en una infraestructura que permita una agitación más eficiente y un control más preciso de los parámetros operativos, como el tiempo y la velocidad de agitación, lo que podría contribuir a una mayor remoción de metales

BIBLIOGRAFÍA

- Aduvire, O. (2018). Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de mina. *Revista de medio ambiente*, 5(36), 1-15.
- Aponte, W. (2020). *Neutralización y Coagulación del efluente ácido de mina para la precipitación de metales totales en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A* [Tesis]. Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Barral, M. (2018). Precipitados de hierro en medios sulfato-acidos que resultan de la alteracion de anfibolitas ricas en sulfuros. *Cuadernos - Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 3, 1-11.
- Barreto, H. (2016). *Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad* [Tesis]. Universidad Cesar Vallejo.
- Bellettini, C. (2024). *Toxicidad de Zn en Chlamydomonas acidophila (Negoro, 1944) para posible estrategia de biorremediación del Drenaje Ácido de Minas* [Tesis]. Universidad Federal de Santa Catarina.
- Berrosipi, L. (2019). *Remoción de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita como agente remediante a escala experimental-2019* [Tesis]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Castillo, R., & Pulido, V. (2024). Remoción de los contenidos metálicos procedentes de las aguas del depósito de relaves de la Planta Concentradora Mahr Túnel—Yauli, Junín, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 3(26), 138-146.
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., & Sandoval, L. (2015). *Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales*. Una Revisión Ingeniería y Región.
- Colque, M., & Murrugarra, J. (2023). *Remoción de metales pesados empleando dolomita en drenaje ácido de mina de un pasivo ambiental minero de Hualgayoc* [Tesis]. Universidad Privada del Norte.
- DS N° 010-2010-MINAM. (2010). *Límites máximos permisibles para efluentes líquidos*

- minero-metalúrgicos*. Ministerio del Ambiente.
- Eloisa, F. (2023). *Remoción de Cu, Fe y Zn en las aguas ácidas de la relavera Quiulacocha-pasco tras una dilución y adición de cal* [Tesis]. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Fernandez, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill Education.
- Flores, E. (2023). *Remoción de Cu, Fe y Zn en las aguas ácidas de la relavera Quiulacocha-Pasco tras una dilución y adición de cal* [Tesis]. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Freire, A., & Loja, E. (2024). *Tratamiento de aguas de drenaje minero utilizando zeolita como absorbente de metales pesados* [Tesis]. Universidad del Azuay.
- Hakemm, I., & Gbolahan, E. (2023). Investigations into the closed-loop hydrometallurgical process for heavy metals removal and recovery from biosolids via mild acid pre-treatment. *Hydrometallurgy*, 218(106044), 1-23.
- Huanca, E. (2023). *Tratamiento de aguas ácidas de mina, para el procesamiento del oro en trapiches en el sector Antahuila, Rinconada – Puno* [Tesis]. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Jurado, R. (2022). *Tratamiento fisicoquímico de drenajes ácidos de roca (DARs) provenientes de las actividades de minería metálica en Ecuador* [Tesis]. Universidad Técnica de Ambato.
- Mamani, W. (2019). *Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la mina la Rinconada—Puno* [Tesis]. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Marin, R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas (Segunda)*. Diaz de Santos.
- Masindi, V., Foteinis, S., & Chatzisyneon, E. (2022). Co-treatment of acid mine drainage and municipal wastewater effluents: Emphasis on the fate and partitioning of chemical contaminants. *Journal of Hazardous Materials*, 5(3), 1-23.
- Montesinos, N. (2017). *Caracterización de efluentes de mina para elección de la*

- alternativa* [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Parra, N. (2022). *Evaluación de la eficiencia del óxido de calcio, para la remoción del hierro, en relaves de la mina MINSUR por precipitación alcalina* [Tesis]. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- PERCAN. (2011). *Protocolo de monitoreo de calidad de efluentes y aguas superficiales en las actividades minero-metalúrgicas*. Proyecto de reformas del sector de recursos minerales del Perú.
- Perez, N. (2016). *Aislamiento y determinación de bacterias biooxidante del género Acidithiobacillus y Leptospirillum presentes en las aguas residuales de las unidades mineras de Recuay—Huaraz* [Tesis]. Universidad Ricardo Palma.
- Quispe, E., & Torres, R. (2024). *Remoción de metales pesados utilizando mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú—2023* [Tesis]. Universidad Continental.
- Rivera, M. (2020). Carbonatos pedogénicos para el tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM). *Experimentos de laboratorio. México: Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México*, 1(23), 1-13.
- Rojas, S. (2023). *Tratamiento convencional con una etapa adicional de sulfuración para el drenaje ácido de mina de la unidad minera Cerro de Pasco del distrito de Simón Bolívar, Pasco* [Tesis]. Universidad Nacional del Callao.
- Sheng, Y., Kaley, B., Bibby, K., Grettenberger, C., Macalady, J., Wang, G., & Burgos, W. (2017). Bioreactors for low-pH iron(II) oxidation remove considerable amounts of total iron. *Royal Society of Chemistry*, 57.
- Shim, M., Choi, B., Lee, G., Hwang, Y., Yang, J., Loughlin, E., & Kwon, M. (2015). Water quality changes in acid mine drainage streams in Gangneung, Korea, 10years after treatment with limestone. *Journal of Geochemical Exploration*, 3(234 – 242).
- Shuster, J., Rea, M., Etschmann, B., & Brugger, J. (2018). Terraced iron formations: Biogeochemical processes contributing to microbial biomineralization and microfossil preservation. *Geosciences (Switzerland)*, 8-12.

- Skousen, J., Ziemkiewicz, P., & McDonald, L. (2019). Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies. *Extractive Industries and Society*, 6-11.
- Trujillo, Y. (2022). *Optimización de la remoción de hierro del drenaje ácido de mina del pasivo ambiental minero de Mesapata, Recuay- Áncash, 2020-2021* [Tesis]. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Valencia, J. (2024). *Tratamiento de aguas acidas de mina para el cumplimiento del DS N° 010-2010 MINAM de una empresa minera, Lima – 2023* [Tesis]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Valverde, I. (2022). *Evaluación del porcentaje de bioadsorción de metales pesados de drenaje ácido de mina utilizando cascara de limón* [Tesis]. Universidad Privada del Norte.
- Vito, K., & Yarcuri, S. (2024). *Tratamiento de extracción ácida para la recuperación de metales pesados (Hg, Pb y Cd) proveniente de pasivos mineros, 2023* [Tesis]. Universidad César Vallejo.
- Zimmer, A., Brito, K., Alegre, S., Sánchez, J., & 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*, 57-76.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL CADMIO Y ZINC APLICANDO EL REACTIVO AR 1849 EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD MINERA LAS ÁGUILAS

<u>PROBLEMA</u>	<u>OBJETIVO</u>	<u>HIPÓTESIS</u>	<u>VARIABLES</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADOR</u>	<u>UND</u>	<u>METODOLOGÍA</u>
<p>General ¿Qué eficiencia de remoción alcanzará el cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas?</p>	<p>General Determinar la eficiencia de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas</p>	<p>General La eficiencia de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas logrará una remoción entre el 80% y 90 %</p>	<p>Independiente Reactivo AR 1849</p>	<p>Índice de acidez</p>	<p>Escala de pH 0-14</p>	<p>Und.</p>	<p>Diseño de investigación</p> <p>Experimental</p>
				Dosis del reactivo	0.1	ml	
					0.2	ml	
					0.3	ml	
					0.4	ml	
					0.5	ml	
<p>Específicas ¿Cuánto es la concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas?</p>	<p>Específicas Determinar la concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas</p>	<p>Específicas La concentración del cadmio y zinc de las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas superan los límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos</p>	<p>Dependiente Remoción del cadmio y zinc</p>	<p>Concentración de metales pesados</p>	<p>Cadmio</p> <p>Zinc</p>	<p>mg/L</p> <p>mg/L</p>	<p>Nivel de investigación</p> <p>Explicativo</p>
				Porcentaje de remoción	Dosis de 0.1 ml del reactivo	%	
					Dosis de 0.2 ml del reactivo	%	
					Dosis de 0.3 ml del reactivo	%	
					Dosis de 0.4 ml del reactivo	%	
					Dosis de 0.5 ml del reactivo	%	
<p>Específicas ¿Cuánto es el porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas?</p>	<p>Específicas Determinar el porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas</p>	<p>El porcentaje de remoción del cadmio y zinc aplicando el reactivo AR 1849 en las aguas residuales de la unidad minera Las Águilas supera el 90 %</p>					<p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicativo</p>

Anexo 02: Formato de registro de monitoreo



REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

UNIDAD MINERA LAS AGUILAS		RUC: _____	
DISTRITO UCUMARI			
Nombre del muestreador HIVAR CENTENO PARRILLO			
Codificación de referencia A-2457-2024			

Número	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identificar la muestra de acuerdo a los datos que aparezcan en el informe de Ensayos)	CODIFICACION (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el código "M" No. Solo para agua)	PROCEDENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Código N°	Determinaciones solicitadas	Total de envases por muestra (Und)	Cantidad Total (ml/6
01	AGUA INDUSTRIAL	N-1	ARI	E: 309534 N: 530734	16/12/24	4:40 pm	2457	Hefato resaca	1	
02										
03										
04										
05										

NOTAS IMPORTANTES:

- En cada fila ingresar una muestra (frasco y conjunto de frascos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (Para Agua): En contenedor isotérmico con lospaños o geoplaques que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

Residual	Para Uso y Consumo Humano	De Proceso	Salina
ARD: Domestico ARD: Industrial ARD: Municipal	ACH: Bebidas - Pomiola ACH: Bebidas - Mesa ACH: Bebidas - Envasada ACP: Focales ACL: Legumin. Artificial	APIR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación y calderas AP-CL: Calderas	AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASR: Inyección y Reinyección

Observaciones:

Fecha y Hora de Emisión de Muestras: 17/12/24
 Via Utilizada: TELERDES T-65

Fecha: 17/12/24 Hora: 12:12 Temperatura Recepción (°C): 27°C

RECIBIDO POR: *[Firma]*

Firma del Muestreador: *[Firma]*



Ministerio de Agricultura



Administración Nacional de Agua

ANEXO V

FICHA

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Cuerpo de Agua:

Clasificación del Cuerpo de Agua:

Cuenca, sub cuenca o microcuenca:

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del Punto de Muestreo:

Ubicación:

Accesibilidad:

Representatividad:

Estación Hidrométrica (*):

(*) si existe

Reconocimiento del Entorno:

UBICACIÓN

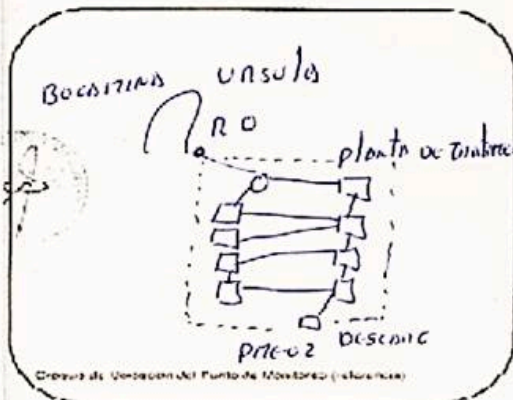
Distrito: Provincia: Departamento:

Localidad:

Coordenadas UTM (WGS84 PRG05S)

Norte: Este: Zona: (47, 18 y 19)

Altitud: (metros sobre el nivel del mar)



Fotografiado por _____


Fecha 13/12/24

Nota: Toda ficha a ser impresa debe ser en tinta IMPRESORA


Origen: el Distrito de Lambuque de la Provincia de Puno

Bigo. Miguel Valdivia Martínez
 Gerente Técnico

Anexo 03: Certificado de análisis inicial de aguas residuales



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 3568- 2024
PÁGINA 1 DE 2

SOLICITANTE	: HIVAR CENTENO PARILLO
DIRECCIÓN	: UNIDAD MINERA LAS AGUILAS - PUNO
PRODUCTO DECLARADO	: AGUA
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido transparente.
CODIFICACIÓN / MARCA	: M-1
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE	: 16/12/2024 16:40 Procedencia: E:309415, N:8330731, Alt: 4319 msnm -
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA	: 01 muestra de 3350 mL aprox. Compuesta por 01 envase PE de 1000 mL
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN	: En envases de vidrio y polietileno cerrados etiquetados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.3°C
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA	: Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN	: No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No especificada
CONTRATO N°	: 1212-2024
FECHA DE RECEPCIÓN	: 17/12/2024

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Periodo de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG

Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 3568-2024
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA	UNIDADES
FQ	Zn (Zinc)	1.61	mg/L
FQ	Cd (Cadmio)	0.69	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS:

Metales Totales (DS 031)

: EPA METHOD 8020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

OBSERVACIONES:

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

**Estos métodos quedan fuera del alcance de la acreditación del INACAL-DA debido a las siguientes observaciones a la aptitud de la muestra al momento de la recepción (Autorizado y aceptado por el cliente):

^: Este símbolo, indica un exponente.

Cualquier valor precedido por "c" indica menor al límite de cuantificación del método

(e) : Recuento estimado.

LC: Límite de cuantificación del método.

LD: Límite de detección del método.

Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes o Fecales y E. coli: Max. 8 hrs después de la toma de muestra a una T<8°C, muestra recepcionada con más de 8 hrs de tiempo de vida útil.

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 2 de 2




Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico


Av. Quíñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo 04: Certificado de análisis final del tratamiento de aguas residuales



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 3559-2024

PÁGINA 1 DE 2

SOLICITANTE	: HIVAR CENTENO PARILLO
DIRECCIÓN	: UNIDAD MINERA LAS AGUILAS - PUNO
PRODUCTO DECLARADO	: AGUA
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido transparente.
CODIFICACIÓN / MARCA	: M
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE	: 16/12/2024 17:00 Procedencia: E:309415, N:8330731, Alt: 4319 msnm - Distrito de Crucero - Provincia de Carabaya - Puno.
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA	: 06 muestras de 3350 mL aprox. Compuesta por 06 envases PE de 1000 mL
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN	: En envases de vidrio y polietileno cerrados etiquetados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.3°C
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA	: Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN	: No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No especificada
CONTRATO N°	: 1212-2024
FECHA DE RECEPCIÓN	: 17/12/2024

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Periodo de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: DAC / Aprobado por : GG Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 3559-2024
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

COD	DETERMINACIÓN	AGUA	UNIDADES
Control	Zn (Zinc)	1.61	mg/L
Control	Cd (Cadmio)	2.89	mg/L
Ensayo 1	Zn (Zinc)	0.52	mg/L
Ensayo 1	Cd (Cadmio)	2.14	mg/L
Ensayo 2	Zn (Zinc)	0.33	mg/L
Ensayo 2	Cd (Cadmio)	1.45	mg/L
Ensayo 3	Zn (Zinc)	0.09	mg/L
Ensayo 3	Cd (Cadmio)	1.02	mg/L
Ensayo 4	Zn (Zinc)	0.05	mg/L
Ensayo 4	Cd (Cadmio)	0.60	mg/L
Ensayo 5	Zn (Zinc)	0.03	mg/L
Ensayo 5	Cd (Cadmio)	0.07	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Metales Totales (DS 031)

: EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

** Estos métodos quedan fuera del alcance de la acreditación del INACAL-DA debido a las siguientes observaciones a la aptitud de la muestra al momento de la recepción (Autorizado y aceptado por el cliente):

^: Este símbolo, indica un exponente.

Cualquier valor precedido por "^e" indica menor al límite de cuantificación del método

(e) : Recuento estimado.

LC: Límite de cuantificación del método.

LD: Límite de detección del método.

Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes o Fecales y E. coli: Max. 8 hrs después de la toma de muestra a una T<8°C, muestra recepcionada con más de 8 hrs de tiempo de vida útil.

PRP-08-F-05-IE Versión 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG

Página 2 de 2



Bigo, Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo 05: Hoja de seguridad reactivo AR 1849

ARENAS	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Código: A-GC-FT-007
		Versión: 01
		Fecha: 11/02/2021
		Página: 1/4

1. IDENTIFICACION DE LA SUBSTANCIA / PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA

Información del Producto

Nombre del producto : FLOCULANTE AR1849
 COMPAÑIA : ARENAS S.R.L.
 Calle El Martillo Mz. B Lt. 5 Urb. El Naranjal Los Olivos
 Lima
 Teléfono : 521-6672
 Telefax : 521-4615

2. COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Caracterización química:

Descripción: : Copolimero de acrilamida.

3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

Los vapores puede generar una llamarada en contacto con carga estática, al momento del transvase.
 Puede causar irritación ocular o de la piel por abrasión mecánica.
 La inhalación puede causar irritación de las vías respiratorias.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos : Lavar por al menos 10 minutos con abundante agua; si hay irritación buscar atención médica.
 Contacto con la piel : Lavar con agua y jabon. Si desarrolla irritación solicitar atención médica.
 Inhalación : Trasladar al aire libre. Buscar atención médica si es necesario.
 Ingestión : Acudir al médico inmediatamente.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Peligros específicos para la lucha contra el fuego. : Evitar contacto con agua durante un incendio ya que el piso puede ponerse muy resbaladizo.
 El polvo puede ser muy explosivo si se mezcla con aire.
 Equipo de protección especial para los bomberos : Traje de protección química contra incendios y equipo de autocontenido.
 Medios de extinción adecuados : Espuma, dióxido de carbono, agentes químicos secos.

6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales : Uso de equipos de protección personal, evite contacto con ojos, piel y vías respiratorias. Producto en contacto con agua o humedad gran peligro de resbalamiento.
 Precauciones para la protección del medio ambiente : Tratar con arena antes de su eliminación. Lavar con mucha agua y desechar en un ambiente seco.

ARENAS	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Código:	A-GC-FT-007
		Versión:	01
		Fecha:	11/02/2021
		Página:	2/4

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

Advertencia para la manipulación segura : Minimice la formación de polvo del producto.

Almacenamiento

Exigencias técnicas para almacenes y recipientes : Almacene el producto en condiciones secas. Asegúrese de las condiciones de ingeniería para extracción de polvos.

8. CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Componentes con valores limite a controlar en el lugar de trabajo

Observaciones: : No aplicable.

Protección personal

Protección respiratoria : Con formación de polvo, use mascarilla eficaz.

Protección de los ojos : Lentes de protección.

Protección de cuerpo y manos : Guantes de plástico y ropa protectora ligera.

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Cuadro de presentación

Estado físico : Polvo granular.

Color : Blanco.

Olor : Olor débil.

Información adicional

Punto de ebullición : No aplicable.

Punto de inflamación : No disponible.

Temperatura de encendido automático : No disponible.

Presión de vapor : No aplicable.

Gravedad específica : 0,75 g/cm³

Solubilidad en agua : <0.5%, produce una solución muy viscosa.

pH 0.5% solución : 6 - 8

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estable a temperatura de ambiente y evite contacto con agente oxidantes.

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad oral aguda : LD50 Ratón.
Dosis: > 5000 mg/kg
Método: investigación preliminar

ARENAS	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Código:	A-GC-FT-007
		Versión:	01
		Fecha:	11/02/2021
		Página:	3/4

Debido a la naturaleza física del material, puede causar irritación en ojos, piel y vías respiratorias. No figura como Carcinógeno por NTP.

12. INFORMACIONES ECOLOGICAS

Toxicidad : LC50 (pescado) > 1000 mg/l

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

Producto : Desechar según las prescripciones de las autoridades locales.
Envases contaminados : Desechar según las prescripciones de las autoridades locales.

14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

Información adicional : No se considera peligroso en ninguna forma de transporte.
N° Identificación : UN no regulado.

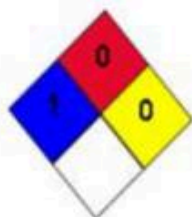
Reglamentación internacional	Nombre del material	Clase	Grupo de Embalaje	Etiqueta
Terrestre (RID/DoT 49 CFR)	No regulado	ND	NA	-
Acuático (ADNR)	No regulado	ND	NA	-
Marítimo (MDG)	No regulado	ND	NA	-
Aéreo (IATA-DGR, ICAO-IT)	No regulado	ND	NA	-

15. INFORMACION REGLAMENTARIA

Símbolo de peligro : Ninguno.
Frasas de riesgo y seguridad : Ninguno

ARENAS	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Código:	A-GC-FT-007
		Versión:	01
		Fecha:	11/02/2021
		Página:	4/4

16. OTRAS INFORMACIONES



Caracteres NFPA	
Toxicidad	: 1
Inflamabilidad	: 0
Reactividad	: 0
Peligros específicos	: 0

0 = normal. 1 = ligeramente peligroso, 2 = peligroso, 3 = extremadamente peligroso, 4 = mortal

La información proporcionada en esta Ficha de Datos de Seguridad, es la más correcta de que disponemos a la fecha de su publicación. La información suministrada, está concebida solamente como una guía para la seguridad en el manejo, uso, procesamiento, almacenamiento, transporte, eliminación y descarga, y no debe ser considerada como una garantía o especificación de calidad. La información se refiere únicamente al material especificado, y no puede ser válida para dicho material, usado en combinación con otros materiales o en cualquier proceso, a menos que sea indicado en el texto.

Anexo 06: Hoja de seguridad policloruro de aluminio

Kemira

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisó / Autorizó:
Lic. Tuomas Rinne
Ing. Javier Serafin Nevárez

Kemira OPTIFLOC 1590

Elab.: 07.08.2006
Rev.: 05.02.2010
Pág.: 1/4

1. IDENTIFICACIÓN DEL FABRICANTE Y DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

- Nombre de la compañía: **Kemira de México, S.A. de C.V.**
Carr. Xoxtla-Tlaltenango s/n
San Miguel Analco Nativitas, Tlaxcala
Tel. 01 (222) 281 5336
Fax. 01 (222) 281 5366
e-mail: mexico@kemira.com
- Teléfono de emergencia (SETIQ): 01 (800) 0021 400
- Nombre del Producto: **Kemira OPTIFLOC 1590**
Coagulante de aluminio

2. COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

Nombre químico:	Policloruro de aluminio			
Familia química:	Sales inorgánicas de aluminio			
Formula general:	$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$			
Componentes	No. CAS	Contenido (%)	Símbolo	Frases
• Policloruro de aluminio	1327-41-9	~ 15	Xi	36/38
• Agua	7732-18-5	~ 75	NA	NA
• Aditivos	ND	~ 10	ND	ND

3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD

- Ingestión accidental: Causa indisposición y vómito.
- Inhalación: Causa irritación en membranas mucosas.
- Piel (contacto y absorción): Puede producir irritación, enrojecimiento y eccemas.
- Ojos: Causa irritación

4. EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

- Contacto con los ojos: Lave inmediatamente con abundante agua limpia durante 15 minutos, llame a un médico.
- Contacto con la piel: Quitar la ropa contaminada, lavar la piel con abundante agua y jabón.
- Ingestión: Si es posible tomar leche o agua y consulte a un médico, no induzca el vómito.
- Inhalación: Enjuague la nariz y boca con agua, lleve al paciente a un lugar ventilado y consiga ayuda médica.

5. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

- Materiales o medios de extinción: Producto no flamable, use el material adecuado para los medios locales. Se recomienda usar espuma base alcohol, polvo químico seco, dióxido de carbono o agua en forma de rocío o niebla.
- Peligros específicos: La descomposición térmica (> 200 °C) puede liberar humos de HCl.
- Equipo de protección para bomberos: Usar aparato respiratorio autónomo y traje de protección.

6. FUGA, DERRAME O LIBERACIONES ACCIDENTALES

- Precauciones personales: Use la ropa e protección adecuada.
- Precauciones ambientales: No permita que el producto sea descargado al drenaje.
- Métodos de limpieza: Contenga los derrames con material inerte absorbente (arena, aserrín, tierra), los cuales serán confinados.
Sobre tierra: Limpie con suficiente agua, si es posible neutralice con cal
Sobre agua: Informe a la policía y/o bomberos.

Kemira

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisó / Autorizó:
Lic. Tuomas Rinne
Ing. Javier Serafin Nevárez

Kemira OPTIFLOC 1590

Elab.: 07.08.2006
Rev.: 05.02.2010
Pág.: 2/4

7. MANEJO Y ALMACENAJE

- Advertencia de manejo: Estabilidad aproximadamente 1 año a bajas temperaturas.
- Condiciones de almacenamiento: Los contenedores deben ser construidos de material resistente a la corrosión como fibra de vidrio, PVC o plásticos apropiados.
- Medidas de protección técnica: Maneje de acuerdo con las buenas prácticas de seguridad e higiene industrial.
- Productos incompatibles: Evite el contacto con cloritos, hipocloritos, sulfitos, álcalis.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN

- Límites de exposición ocupacional:
TLV (EU): 2 mg Al/m³
- Medidas para reducir la exposición: Debe diseñarse el área de trabajo y los procedimientos para prevenir el contacto directo con el producto e inhibir el polvo y/o salpicadura.
- Equipo de protección personal
 - Ojos: Lentes de seguridad con protección lateral y equipo lava ojos.
 - Piel y cuerpo: Ropa de protección, tales como bata u overol.
 - Manos: Guantes de caucho o plástico.
 - Respiratoria: Ninguno

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- Estado físico: Líquido transparente - azulado opalescente.
- Olor: Insignificante.
- pH: < 1.5 en solución concentrada.
- Temperatura de ebullición: 100 - 110 °C
- Temperatura de fusión: 64 °C
- Temperatura de inflamación: Ninguno
- Temperatura de descomposición: Empieza a cristalizar a - 20 °C
- Temperatura de autoignición: Ninguno
- Densidad relativa: 1.200 – 1.240 g/cm³
- Densidad de vapor: No aplica
- Velocidad de evaporación: No aplica
- Solubilidad en agua: Completa a 20 °C
- Presión de vapor: ≈ 18
- Volatilidad: No aplica
- Flamabilidad (sólido, gas): No aplica

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- Estabilidad: Estable en condiciones normales
- Condiciones a evitar: Altas temperaturas, se descompone al calentar por arriba de 200 °C. Evite el contacto con cloritos, hipocloritos, sulfitos, álcalis.
- Materiales a evitar: Acero puro, superficies galvanizadas
- Producto peligroso de descomposición: La descomposición térmica (> 200 °C) puede liberar humos de HCl

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- Toxicidad aguda:
Oral DL₅₀, rata: > 2,000 mg/kg
- Irritación primaria: El polvo y/o salpicaduras irrita las membranas mucosas, ojos y aparato respiratorio.
- Sensibilidad: Dato no disponible
- Periodo prolongado de toxicidad: Dato no disponible
- Pruebas en humanos: Dato no disponible

Kemira

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisó / Autorizó:
Lic. Tuomas Rinne
Ing. Javier Serafín Nevárez

Kemira OPTIFLOC 1590

Elab.: 07.08.2006
Rev.: 05.02.2010
Pág.: 3/4

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- Persistencia y degradabilidad: No disponible
 - Bioacumulación: No disponible
 - Movilidad: No disponible
 - Efectos ecotóxicos: El producto es una sustancia inorgánica. Durante la hidrólisis se forma un precipitado de hidróxido de aluminio, en el rango de pH 5.0 a 7.0. El precipitado no es dañino para las algas, daphnia y peces.
- | | |
|---|------------|
| Alga Marina (<i>Skeletonema costatum</i>), CL_{50} , 72 hr: | > 100 mg/L |
| Protozoa (<i>microregma</i>), CL_{50} , 96 hr: | 12 mg/L |
| Mosca de agua (<i>Daphnia magna</i>), CE_{50} , 48 hr: | 290 mg/L |

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN

- Residuos del producto: Diluir con agua y neutralizar con cal y disponer de los desechos de acuerdo con las normas y reglamentos locales y nacionales.
- Empaques contaminados: Destruir de acuerdo con las normas y reglamentos locales y nacionales.

14. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

Información sobre embarque internacionales

- Transporte terrestre
 - Clase de peligro: 8
 - Artículo: 1 (c)
 - Grupo de empaque: III
 - Código de riesgo: 8-17
 - Etiqueta ADR-RID/SCT: 80/3264 Líquido corrosivo, ácido inorgánico (No combustible)
 - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido
- Transporte marítimo
 - Clase de peligro: 8
 - Grupo de empaque: III
 - Etiqueta IMO-IMDG: 8 Líquido corrosivo, ácido inorgánico (No combustible)
 - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido
- Transporte aéreo
 - Clase de peligro: 8
 - Grupo de empaque: III
 - Etiqueta ICAO/IATA: 8 Líquido corrosivo, ácido inorgánico (No combustible)
 - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido

15. INFORMACION SOBRE LA REGLAMENTACIÓN

- Etiquetado de acuerdo a las directrices de la UE
 - Símbolo de peligro: Xi (irritante)
 - Contiene: Policloruro de aluminio
 - Frases - R: R 36/38 Irritación de ojos y piel
 - Frases - S: S 26 En contacto con los ojos, enjuague inmediatamente con suficiente agua, es aconsejable buscar a un médico.
S 28 Después del contacto con la piel, lavar inmediatamente con suficiente agua.
S 36/37/39 Usar ropa de protección adecuada, además de guantes y careta.
- No. ONU: 3264 / 154
- No. de CAS: 1327-41-9
- Código NFPA:



- 1 SALUD
- 0 INFLAMABILIDAD
- 1 REACTIVIDAD*
- RIESGO ESPECÍFICO
- C EQUIPO DE SEGURIDAD

* Solo si es calentado

Kemira

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisó / Autorizó:
Lic. Tuomas Rinne
Ing. Javier Serafin Nevárez

Kemira OPTIFLOC 1590

Elab.: 07.08.2006
Rev.: 05.02.2010
Pág.: 4/4

16. OTRA INFORMACION

- Uso recomendado: Tratamiento de aguas.

Esta hoja de seguridad cumple con las normas Oficiales Mexicanas sobre Seguridad e Higiene. NOM-018-STPS-2000, NOM-114-STPS-1994.

La información en esta hoja de seguridad es proporcionada de buena fe y con el conocimiento nuestro en la fecha de su aplicación. La información anteriormente dada es emitida como guía para el manejo seguro en el uso, proceso, almacenamiento, transportación, disposición y descarga; no será considerada una garantía o especificación de calidad, puesto que las condiciones de funcionamiento están más allá de nuestro control. La información solo concierne al material específico indicado y no es válida para este material usado en combinación con cualquier otro material o en cualquier proceso no especificado en el texto. Kemira de México, S.A. de C.V. no se responsabiliza por pérdidas o daños que sean resultado del uso inapropiado de esta información.

Anexo 07: Panel fotográfico

FOTOGRAFÍA N° 1



Figura 09: Sistema de vertimiento de agua residual de la unidad minera las Águilas.

FOTOGRAFÍA N° 2



Figura 10: Obtención de la muestra de agua residual

FOTOGRAFÍA N° 3

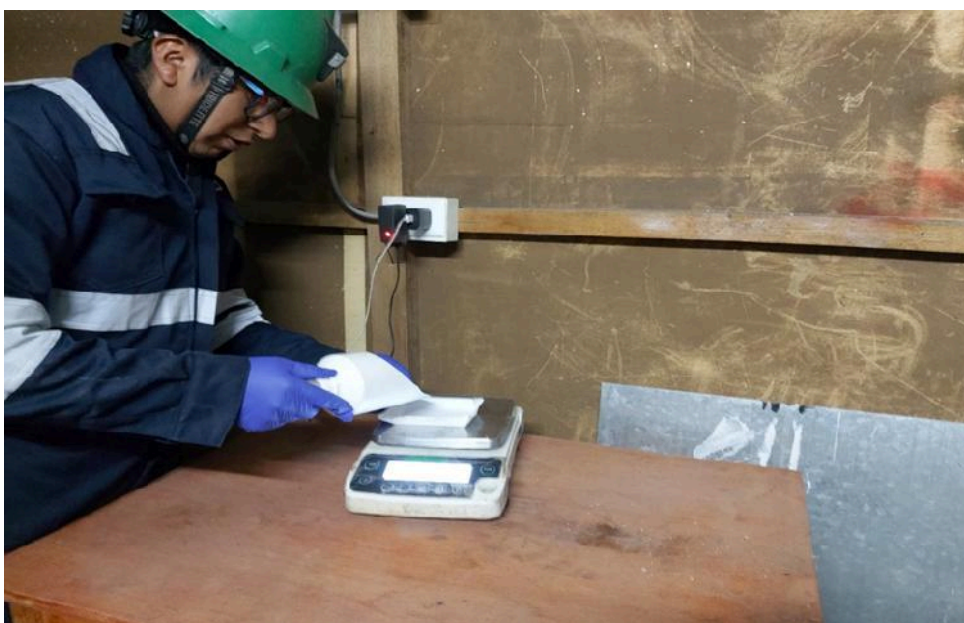


Figura 11: Preparación del reactivo AR 1849

FOTOGRAFÍA N° 4



Figura 12: Materiales y equipos a requerir para la experimentación

FOTOGRAFÍA N° 5

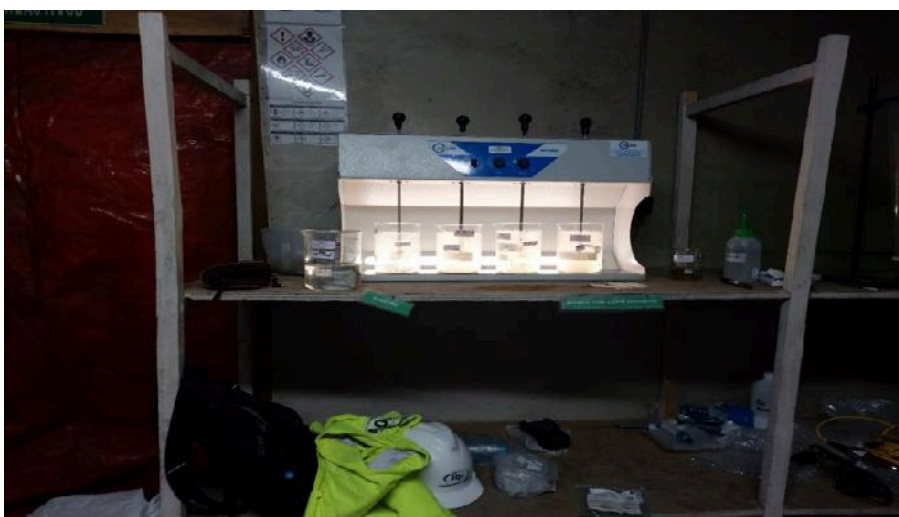


Figura 13: Ensayos de prueba de jarras con diferentes dosis del reactivo AR 1845.

FOTOGRAFÍA N° 6



Figura 14: Pruebas experimentales de sedimentación

FOTOGRAFÍA N° 7

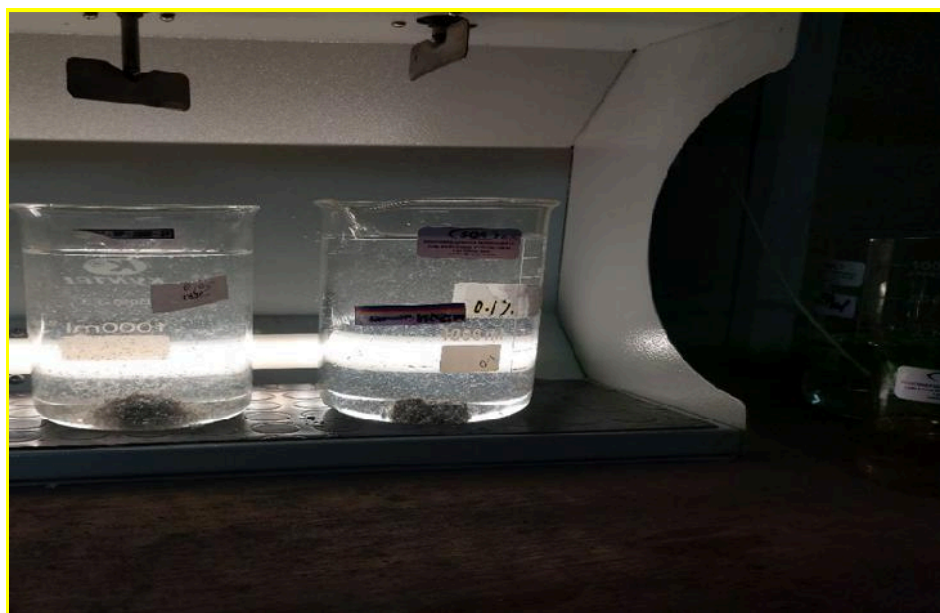


Figura 15: Pruebas de clarificación

FOTOGRAFÍA N° 8



Figura 16: Cinética de sedimentación.