



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES

PRESENTADA POR:

FIDEL HUISA MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**Dren anóxico calizo para el tratamiento d
e aguas ácidas de mina - Acumulación L
os Rosales**

AUTOR

Fidel Huisa Mamani

RECuento DE PALABRAS

20862 Words

RECuento DE CARACTERES

107151 Characters

RECuento DE PÁGINAS

111 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.5MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 16, 2023 9:11 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 16, 2023 9:13 PM GMT-5

● **3% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cros

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Resumen



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS

**DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS
DE MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES**



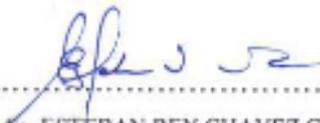
PRESENTADA POR
FIDEL HUISA MAMANI
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
D. Sc. OSCAR ELOY LLANQUE MAQUERA

PRIMER MIEMBRO


.....
D. Sc. ESTEBAN REY CHAVEZ GUTIERREZ

SEGUNDO MIEMBRO


.....
D. Sc. ROBERTO CHAVEZ FLORES

ASESOR DE TESIS


.....
D. Sc. AMERICO ARIZACA AVALOS

Puno, 12 de octubre de 2023

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería
TEMA: Tratamiento de aguas ácidas de mina
LÍNEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente



DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, a mi querida esposa Elizabeth, a mis queridos hijos Harold y Maykol, por su constante apoyo y aliento, a mi familia y amistades por su apoyo incondicional.



AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Escuela de Posgrado - Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente por darme la oportunidad de superación académica.

Al jurado calificador Dr. Oscar Llanque, Dr. Esteban R. Chavez, Dr. Roberto Chavez y a mi asesor de tesis Dr. Americo Arizaca, a ellos por su apoyo y orientación en la culminación de la presente investigación.

A la Facultad de Ingeniería de Minas – Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental a los ingenieros Wilber Pastor, Julisa Mamani y personal por el apoyo incondicional en el proceso analítico.

A la memoria de mis padres Gregorio, Adriana y mis hermanos Carlos, Pascual y Rosendo.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	2
1.1.1. Impacto ambiental	2
1.1.2. Tipos de impacto ambiental	2
1.1.3. Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)	3
1.1.4. Anóxico calizo	4
1.1.5. La piedra caliza	5
1.1.6. La granulometría	5
1.1.7. Parámetros fisicoquímicos	6
1.1.8. Parámetros químicos	10
1.1.9. Arsénico total	10
1.1.10. Arsénico inorgánico	11
1.1.11. Arsénico orgánico	11
1.1.12. Arsina (arsina gaseosa)	11
1.1.13. Cobre total	12
1.1.14. Hierro disuelto	13
1.1.15. Plomo	14
1.2. Antecedentes	15

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	23
2.2. Enunciados del problema	24
2.2.1. Problema general	24
2.2.2. Problemas específicos	24
2.3. Justificación	24
2.4. Objetivos	26
2.4.1. Objetivo general	26
2.4.2. Objetivos específicos	26
2.5. Hipótesis	26
2.5.1. Hipótesis general	26
2.5.2. Hipótesis específicas	26

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	27
3.1.1. Ubicación	27
3.1.2. Accesibilidad	27
3.1.3. Clima	28
3.1.4. Geología	29
3.1.5. Hidrología	29
3.1.6. Flora y fauna	30
3.2. Población	31
3.3. Muestra	31
3.4. Método de investigación	32
3.4.1. Materia prima, equipos, materiales.	32
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	34
3.5.1. Determinar las características del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria – Acumulación Los Rosales.	34
3.5.2. Determinar la eficiencia del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales.	38



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar la eficacia del drenaje anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria – Acumulación Los Rosales.	45
4.2. Determinar las características del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales.	46
4.3. Determinar la concentración de parámetros fisicoquímicos del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales	47
4.3.1. Parámetros fisicoquímicos para granulometría de 1 1/2”	48
4.3.2. Parámetros fisicoquímicos para granulometría de 1”	52
4.3.3. Parámetros fisicoquímicos para granulometría de 3/4”	55
4.3.4. Nivel de acumulación de metales pesados de 1 ½ pulgadas.	59
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	75



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua.	4
2. Coordenadas del área de estudio	27
3. Acceso al lugar	28
4. Especies de flora y fauna del ámbito de estudio	31
5. Características a considerar en el monitoreo de agua	34
6. Parámetros de medición	37
7. Procedimientos de evaluación empleados por el laboratorio para el análisis en muestras de agua.	43
8. Dimensiones del dren anóxico calizo	47
9. Parámetros fisicoquímicos de agua acida para una granulometría de 1 ½ "	48
10. Parámetros fisicoquímicos de agua acida para una granulometría de 1"	52
11. Parámetros fisicoquímicos de agua acida para una granulometría de 3/4"	55
12. Concentración de metales pesados en agua para un diámetro de 1 ½ "	59
13. Concentración de metales pesados en agua para un diámetro de 1/4 "	60
14. Concentración de metales pesados en agua para un diámetro de 1 "	61
15. Análisis de varianza para el hierro	63
16. Resumen del modelo	63
17. Medidas de la desviación estándar agrupada	63



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Parámetro de potencial de hidrógeno	6
2. Mapa de ubicación del área de estudio	28
3. Micro cuenca los rosales	32
4. Granulometría de la caliza	33
5. Disposición de la granulometría de la caliza	35
6. Diseño del reactor para el drenaje del anóxico calizo	36
7. Reactor para drenaje anóxico calizo	37
8. Envases de toma de muestras para el análisis en laboratorio	39
9. Cadena de custodia para ensayo de agua	40
10. Formato de reporte parámetros fisicoquímico	41
11. Predicciones y evaluación del agua en función al oxígeno disuelto (OD)	48
12. Predicciones y evaluación del agua en función a la conductividad	49
13. Pronósticos del contenido de pH en agua	50
14. Pronóstico para potencial de oxidación y reducción (ORP)	50
15. Sólidos totales disueltos	51
16. Pronóstico según el oxígeno disuelto en agua	52
17. Predicciones del agua en función de la conductividad	53
18. Predicciones del agua en función al pH	54
19. Potencial redox par una granulometría de 1”	54
20. Sólidos totales disueltos para 1” de diámetro de calizas	55
21. Pronóstico para el oxígeno disuelto	56
22. Conductividad eléctrica	57
23. Potencial de hidrógeno (pH)	58
24. Sólidos totales disueltos	58
25. Concentración de metales pesados y su distribución para 1 ½ "	59
26. Concentración de metales y su distribución para 3/4 "	60
27. Concentración de metales y su distribución para 1"	62
28. Grafica de los intervalos para la media al 95%	64



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Decreto supremo N° 004-2017-MINAM	76
2. Decreto Supremo No 010-2010 MINAM (ECA)	77
3. Resultados de la evaluación del agua realizada por el laboratorio LAS	79
4. Resultados de metales pesados en agua realizada por el laboratorio LAS	80
5. Resultados de la evaluación de metales pesados en agua, laboratorio LAS	81
6. Resultados del análisis de carbonato de calcio	82
7. Resultados de parámetros fisicoquímicos de 1 ½ “	83
8. Resultados de parámetros fisicoquímicos de 1 “	84
9. Resultados de parámetros fisicoquímicos de 3/4 “	85
10. Resultados de análisis de tratamiento del dren anoxico calizo de 1 ½ “	86
11. Resultados de análisis de tratamiento del dren anoxico calizo de 1“	87
12. Resultados de análisis de tratamiento del dren anoxico calizo de 3/4 “	88
13. Certificado de operatividad del Espectrofotómetro 4210 MP-AES	89
14. Certificado de calibración del Espectrofotómetro 4210 MP-AES	90
15. Imágenes del área de investigación	91
16. Proceso de selección de materia prima	92
17. Procedimiento del cálculo de densidad	93
18. Diseño de dren anóxico calizo	94
19. Medición de parámetros fisicoquímicos en cada reactor	95
20. Medición de parámetros fisicoquímicos en cada reactor	96
21. Medición de metales pesados por espectrofotómetro 4210 MP-AES	97
22. Mapa de ubicación del ámbito de estudio	98

ABREVIATURAS

Sigla	Denominación
AAS	Espectrofotómetro de absorción atómica
ANA	Autoridad Nacional del Agua
APHA	American Public Health Association
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CE	Conductividad Eléctrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
EEA	Espectrofotometría por Absorción Atómica
ICP-AES	Plasma acoplado por inducción (Advanced Encryption Standard)
ISO	International Organization for Standardization.
mg/L	miligramos/Litro
$\mu\text{S/cm}$	micro siemens por centímetro
ppm	partes por millón
CaCO_3	carbonato de calcio
As_4S_4	sulfuro de arsénico
As_2S_3	trisulfuro de arsénico
SRB	Bacteria reductora de sulfato
ORP	Potencial de Oxidación/Reducción
mv	milivoltios
MINAM	Ministerio del Ambiente
MP-AES	Agilent microwave plasma atomic emission spectrometers
NIMD	National Institute for Minamata Disease
NTP	Norma Técnica Peruana.
OD	Oxígeno Disuelto
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
WGS-84	World Geodetic System 1984

RESUMEN

Las aguas ácidas de mina es problema en las actividades mineras en la región y a nivel mundial. Se empleó dren anóxico calizo que se basa en la reacción química que ocurre entre la roca caliza y el agua ácida. Se utilizó roca caliza con 89 % de pureza en granulometrías de $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$ de pulgadas para el incremento de pH. Los objetivos fue determinar las características del dren anóxico calizo y la eficiencia en la disminución de concentración de parámetros fisicoquímicos para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales. Los métodos empleados fueron; (ISO 5667-10), (EPA) OMS, para el muestreo la norma internacional ISO 7888, la Asociación Americana de Salud Pública (APHA), se utilizó un multiparámetro Hanna modelo HI98194 y para la concentración de metales se utilizó espectrofotómetro de emisión atómica, mediante un plasma microondas 4210 MP-AES. Como conclusión, se diseñó reactores con una capacidad de volumen de 0,0867 m³, un caudal de 0,50 L/min, siendo eficiente el reactor de 1" obteniéndose resultados siguientes: el incremento pH de 2.97 hasta 6.52, OD de 1.9 a 2,09 ppm, ORP de 18.4 hasta 45,2 mV, y la reducción de la CE 1803 a 1683 μ S/cm y TDS de 912 a 841 ppm; también se reduce las concentraciones de metales pesados como Fe de 30,77 a 9,69 ppm, As de 0,013 a 0,011ppm, Cu de 18,46 a 17,21ppm, Zn de 3,86 a 1,31ppm y Pb de 0,11 aumento a 0,61 ppm.

Palabras clave: Aguas acidas, dren anóxico calizo, metales pesados, parámetros fisicoquímicos, roca caliza.



ABSTRACT

Acid mine water is a problem in mining activities in the region and worldwide. Anoxic limestone drainage was used, which is based on the chemical reaction that occurs between limestone rock and acidic water. Limestone rock with 89% purity in granulometries of $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$ inches was used to increase pH. The objectives were to determine the characteristics of the limestone anoxic drain and the efficiency in reducing the concentration of physicochemical parameters for the treatment of acid mine waters from the Labor Candelaria - Los Rosales Accumulation. The methods used were; (ISO 5667-10), (EPA) WHO, for sampling the international standard ISO 7888, the American Public Health Association (APHA), a Hanna multiparameter model HI98194 was used and an atomic emission spectrophotometer was used for metal concentration. , using a 4210 MP-AES microwave plasma. In conclusion, reactors were designed with a volume capacity of 0.0867 m³, a flow rate of 0.50 L/min, the 1" reactor being efficient, obtaining the following results: the increase in pH from 2.97 to 6.52, OD from 1.9 to 2.09 ppm, ORP from 18.4 to 45.2 mV, and reduction of EC 1803 to 1683 μ S/cm and TDS from 912 to 841 ppm; The concentrations of heavy metals such as Fe from 30.77 to 9.69 ppm, As from 0.013 to 0.011ppm, Cu from 18.46 to 17.21ppm, Zn from 3.86 to 1.31ppm and Pb from 0 are also reduced. .11 increase to 0.61 ppm.

Keywords: Acid waters, anoxic limestone drainage, heavy metals, physicochemical parameters, limestone rock.

INTRODUCCIÓN

La gestión ambiental y la sostenibilidad en la industria minera son imperativos ineludibles en la actualidad. El tratamiento de las aguas ácidas generadas por la minería es un desafío crítico, no solo para el bienestar del entorno natural, sino también para la reputación y la viabilidad a largo plazo de las operaciones mineras. En este contexto, el drenaje anóxico calizo emerge como una solución de sistema pasivo para abordar el problema de las aguas ácidas de mina en la concesión minera Acumulación Los Rosales, ubicada en un entorno donde la minería ha sido históricamente una actividad económica de gran relevancia.

El dren anóxico calizo es un proceso ingenioso que aprovecha las propiedades únicas de la caliza para neutralizar las aguas ácidas y eliminar metales pesados disueltos. Este enfoque no solo se destaca por su eficacia en la remediación de las aguas contaminadas, sino también por su sostenibilidad ambiental y su potencial para mejorar las relaciones con las comunidades locales.

El capítulo I, narra brevemente el marco teórico donde se ha coleccionado las referencias de investigaciones elaboradas en contextos parejos que conduzcan en la realización de la tesis por métodos validadas definitivas de excelencia previas y consideraciones teóricas para ordenar la creación científica mecánica y la notabilidad del argumento a estudiar (Torres *et al.*, 2016). En el capítulo II, se identificó el problema y su formulación correspondiente, se determinaron los objetivos e hipótesis trazados en esta investigación. En el capítulo III, describe el sitio de trabajo, se redacta la población, la muestra, también el proceso metodológico que describe para alcanzar los objetivos, las variables dependientes y/o independientes, los distintos equipos y materiales servibles en la ejecución del trabajo. El capítulo IV, describe los resultados y discusiones del trabajo, obtenido cuadros estadísticos utilizando el software Minitab versión 19, a su vez los resultados del laboratorio, por ultimo las conclusiones y sus respectivas recomendaciones necesarias y bibliografía consultada y los anexos referidos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Impacto ambiental

Se refiere a los efectos que diversas actividades humanas tienen en el medio ambiente. Estos efectos pueden ser positivos o negativos y pueden afectar a diferentes aspectos del entorno natural, como la calidad del aire, el agua, el suelo, la biodiversidad y los ecosistemas en general (Brousett *et al.*, 2021). Aquí hay una visión general de los conceptos clave relacionados con el impacto ambiental.

Para reducir los impactos ambientales en la minería, es fundamental promover prácticas sostenibles y responsables que aborden estas causas subyacentes. Esto incluye la implementación de tecnologías más limpias, la gestión adecuada de residuos, la restauración de áreas degradadas y la consulta activa con las comunidades locales y los expertos en medio ambiente (Alvarez, 2018).

1.1.2. Tipos de impacto ambiental

- a) **Impacto positivo:** Algunas actividades humanas pueden tener efectos positivos en el medio ambiente. Por ejemplo, la reforestación puede mejorar la biodiversidad y contribuir a la captura de carbono (Brousett *et al.*, 2021).
- b) **Impacto negativo:** La mayoría de las actividades humanas tienen algún grado de impacto negativo en el medio ambiente. Esto incluye la contaminación del aire, agua y suelo, la degradación del hábitat, la deforestación, la pérdida de biodiversidad, el cambio climático, entre otros (H. B. Fernandez *et al.*, 2022).

1.1.3. Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es un proceso mediante el cual se evalúan los posibles efectos ambientales de un proyecto, plan o programa antes de su implementación. Implica identificar, prever y mitigar los impactos negativos (MINAM, 2010).

Para reducir el impacto ambiental, es crucial implementar medidas de mitigación. Esto podría incluir la adopción de tecnologías limpias, la promoción de prácticas sostenibles y la conservación de ecosistemas clave (Brousett *et al.*, 2021).

La sostenibilidad busca equilibrar las necesidades presentes y futuras de la sociedad sin agotar los recursos naturales ni dañar el medio ambiente (Skousen *et al.*, 2019).

El impacto ambiental de la minería varía según el método de extracción, procesos de beneficio, escala operativa, ubicación y el entorno circundante. La contaminación del suelo por metales pesados, que resulta de estas actividades, no ha sido suficientemente relacionada con los tipos de operaciones mineras (OEFA, 2013). La gestión responsable requiere considerar todos estos factores y aplicar prácticas adecuadas para minimizar los efectos negativos en el medio ambiente. (Pabón *et al.*, 2020).

Se recopila información detallada sobre el proyecto, su ubicación, diseño, tecnologías involucradas, así como información sobre el entorno natural y social afectado, se analizan los posibles impactos ambientales y sociales que podrían surgir como resultado del proyecto. Estos impactos pueden incluir la degradación del suelo, la contaminación del agua y del aire, la pérdida de biodiversidad, el desplazamiento de comunidades locales, entre otros, se desarrollan estrategias y medidas para mitigar los impactos negativos identificados, se fomenta la participación activa de la comunidad local y otros en el proceso de EIA, permitiéndoles expresar sus preocupaciones y opiniones, y proporcionando información transparente sobre el proyecto (Cares *et al.*, 2023).

La EIA es una herramienta crucial para equilibrar el desarrollo económico con la protección del medio ambiente y el bienestar de las comunidades. Las regulaciones y procesos específicos pueden variar de un país a otro, pero en general, su objetivo

es garantizar que los proyectos se realicen de manera sostenible y responsable desde el punto de vista ambiental y social (Fierro, 2017).

Tabla 1

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua.

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Físicos - Químicos			
Cianuro wad	mg/L	0,1	0,1
Color (b)	c.v. E pt/Co	100(a)	100(a)
Conductividad	mg/L	2500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	15	15
Potencial de hidrógeno (pH)	mg/L	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	≥4	≥5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Inorgánico			
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Cromo total	mg/L	0.1	1
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Hierro	mg/L	5	**
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Zinc	mg/L	2	24

Fuente: (MINAM, 2017)

1.1.4. Anóxico calizo

Un ambiente con bajo o nulo contenido de oxígeno y con altos niveles de cal. Estos ambientes se encuentran en ciertos tipos de suelos o sedimentos donde se produce un proceso de sedimentación y acumulación de materia orgánica que agota el oxígeno disponible en el agua o el suelo (Kleiv & Thornhill, 2008).

Este tipo de condiciones puede tener un impacto en la vida acuática y la biodiversidad del ecosistema, ya que algunas especies pueden adaptarse a ambientes anóxicos, mientras que otras pueden tener dificultades para sobrevivir (Zamora *et al.*, 2018).

1.1.5. La piedra caliza

Consiste principalmente en carbonato de calcio (CaCO_3), es un corrector de suelo alcalino que se utiliza para aumentar el pH y neutralizar la acidez del suelo (Labastida *et al.*, 2019). El aumento del pH del suelo beneficia a muchas plantas, ya que les proporciona un ambiente más favorable para el crecimiento y la absorción de nutrientes (Santomartino & Webb, 2007).

1.1.6. La granulometría

Es una medida que se utiliza para describir y clasificar el tamaño de las partículas que componen un material, ya sea sólido, líquido o incluso gaseoso. Es una propiedad importante en diversas áreas, como la industria, la geología, la ingeniería civil, la agricultura, la metalurgia y la ciencia de materiales (Vigil, 2017).

Para determinar la granulometría de un material, se lleva a cabo un proceso de tamizado o análisis de tamaño de partículas. En el caso de materiales sólidos, este proceso generalmente implica pasar el material a través de una serie de tamices con aberturas de diferentes tamaños (Paranhos *et al.*, 2020).

El procedimiento típico para determinar la granulometría de un material es el siguiente:

- **Preparación de muestras:** Se toma una muestra representativa del material que se va a analizar y se la prepara para el tamizado.
- **Tamizado:** La muestra se coloca en una serie de tamices de diferentes tamaños de abertura. Los tamices se apilan en orden descendente, desde los tamices con las aberturas más grandes en la parte superior hasta los más pequeños en la parte inferior (Chamizo, 2018).
- **Agitación:** Los tamices se agitan o se someten a vibración durante un tiempo determinado para asegurar que todas las partículas del material queden atrapadas en el tamiz adecuado según su tamaño.

- **Registro y análisis:** Una vez que se completa el proceso de tamizado, se pesan las fracciones retenidas en cada tamiz y se registra la cantidad de material retenido en cada tamaño de abertura.
- **Gráfico de granulometría:** Con los datos recopilados, se crea un gráfico de granulometría que muestra la distribución del tamaño de las partículas en función del porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz (Chamizo, 2018).

1.1.7. Parámetros fisicoquímicos

a) pH

La sigla "pH" proviene del término "potencial de hidrógeno". Esta medida está relacionada con la concentración de iones de hidrógeno (H+) en una solución (Pabón *et al.*, 2020). En soluciones ácidas, la concentración de iones de hidrógeno es mayor, lo que disminuye el pH (Chamizo, 2018). En soluciones alcalinas, la concentración de iones hidrógeno es menor, lo que aumenta el pH.

El pH es una medida que se utiliza para determinar si una solución es ácida, neutra o alcalina (básica). Es una escala numérica que va desde 0 a 14, donde 7 es considerado neutral. Un pH por debajo de 7 indica que la solución es ácida, mientras que un pH por encima de 7 indica que es alcalina (Sierra, 2019).

EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE		PH	EJEMPLOS
ÁCIDO		pH = 0	Ácido de baterías.
		pH = 1	Ácido sulfurico.
		pH = 2	Jugo de limón, vinagre.
		pH = 3	Jugo de naranja, bebida gaseosa.
	Mueren todos los peces (4.2).	pH = 4	Lluvia ácida (4.2-4.4). Lago ácido (4.5).
Mueren los huevos de rana, renacuajos, cangrejos de río y efimeras (5.5).	pH = 5	Bananas (5-5.3). Lluvia limpia (5.6). Lago saludable (6.5).	
Comienzan a morir las truchas arcoris.	pH = 6	Leche (6.5-6.8).	
NEUTRO BÁSICO		pH = 7	Agua pura.
		pH = 8	Agua de mar, huevos.
		pH = 9	Bicarbonao de soda.
		pH = 10	Leche magnesia.
		pH = 11	Amoníaco.
		pH = 12	Agua jabonosa.
		pH = 13	Blanqueador.
		pH = 14	Limpiador líquido para desagües.

Figura 1. Parámetro de potencial de hidrógeno

Fuente: (Jiménez & Llanos, 2019)

b) El oxígeno disuelto (OD)

Se refiere a la cantidad de oxígeno presente en forma de gas disuelto en un líquido, generalmente en agua. Es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua, ya que es esencial para la vida acuática y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (Mahmoud et al., 2023).

El oxígeno disuelto se mide en miligramos de oxígeno por litro de agua (mg/L) o partes por millón (ppm). Los equipos de medición de oxígeno disuelto, como los medidores de oxígeno o sondas de oxígeno, se utilizan para realizar estas mediciones y monitorear la calidad del agua en diversos entornos acuáticos (Paranhos et al., 2020).

El oxígeno disuelto proviene principalmente de dos fuentes:

- **Difusión atmosférica**

Cuando el agua entra en contacto con el aire en la superficie, el oxígeno del aire se disuelve en el agua por un proceso de difusión. La cantidad de oxígeno disuelto que puede contener el agua depende de factores como la presión atmosférica, la temperatura y la salinidad del agua (Fikadu, 2022).

- **Fotosíntesis acuática**

Las plantas y algas acuáticas realizan la fotosíntesis, un proceso en el que utilizan la luz solar para producir oxígeno a partir del dióxido de carbono y agua. Durante el día, la fotosíntesis puede aumentar significativamente los niveles de oxígeno disuelto en el agua (Skousen *et al.*, 2019).

c) La conductividad eléctrica

Es una medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica. Se refiere a la facilidad con la que los electrones pueden moverse a través de un medio cuando se aplica un campo eléctrico. Es una propiedad importante que se utiliza para caracterizar y clasificar diferentes materiales en función de su capacidad de conducir electricidad (Romero & Dávila, 2015).

La conductividad eléctrica se expresa en unidades de siemens por metro (S/m) o en su submúltiplo microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Falcón et al., 2020).

En general, los materiales conductores, como los metales (por ejemplo, cobre, aluminio) y algunas soluciones iónicas, tienen alta conductividad eléctrica, lo que significa que permiten que los electrones fluyan libremente y conduzcan electricidad de manera eficiente (Skousen et al., 2019).

Por otro lado, los materiales aislantes tienen baja conductividad eléctrica. En estos materiales, los electrones no pueden moverse fácilmente, lo que resulta en una resistencia alta a la conducción de corriente eléctrica (Chamizo, 2018).

La conductividad eléctrica es una propiedad importante en diversas aplicaciones y campos, incluyendo:

- **Industria eléctrica:** Se utiliza en la fabricación de cables y alambres conductores para transmisión de electricidad.
- **Electrónica:** Es esencial para el funcionamiento de circuitos eléctricos y electrónicos.
- **Agricultura:** La medición de la conductividad eléctrica del suelo se utiliza para evaluar la fertilidad y salinidad del suelo, lo que es importante para la agricultura y la producción de cultivos.
- **Calidad del agua:** La conductividad eléctrica del agua se utiliza como una medida de la cantidad de sales y minerales disueltos, lo que ayuda a evaluar la calidad del agua en cuerpos de agua naturales y en aplicaciones industriales (Kleiv & Thornhill, 2008).

d) El potencial de oxidación/reducción (ORP)

Es una medida que se utiliza para determinar la capacidad de una solución para oxidar o reducir sustancias químicas. Es una medida electroquímica que indica el poder oxidante o reductor de una solución en relación con un electrodo de referencia (Miller et al., 2013).

El ORP se expresa en milivoltios (mV) y se mide con un electrodo específico llamado electrodo de ORP o electrodo redox. Este electrodo consta de un electrodo de platino o similar sumergido en una solución y rodeado por un medio de referencia. Cuando se coloca en una solución, el electrodo ORP mide el potencial eléctrico que se desarrolla debido a las reacciones de oxidación y reducción presentes en el medio (Romero & Dávila, 2015).

El ORP tiene varias aplicaciones importantes en diversos campos:

- **Tratamiento de agua:** En el tratamiento de agua, el ORP se utiliza como una medida de la calidad del agua y la eficacia de la desinfección. Un ORP alto indica un poder oxidante fuerte, lo que es útil para la eliminación de contaminantes y patógenos mediante procesos de oxidación, como la cloración (Mahajan & Kaushal, 2018).
- **Procesos industriales:** En industrias químicas y de alimentos, el ORP se utiliza para controlar procesos y monitorear la presencia de especies químicas oxidantes o reductoras, lo que puede ser crítico para mantener la calidad y seguridad del producto final (Brousett et al., 2021).
- **Sistemas de tratamiento de aguas residuales:** El ORP se utiliza para supervisar la eficiencia de los procesos de tratamiento biológico en plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que cambios en el ORP pueden indicar cambios en la actividad bacteriana (Amaro et al., 2023).

e) **Los sólidos totales disueltos (TDS)**

(Sus siglas en inglés: Total Dissolved Solids) es una medida que se utiliza para determinar la cantidad total de sólidos disueltos en una solución acuosa. Estos sólidos pueden incluir sales, minerales, iones, metales y otros compuestos disueltos en el agua u otra solución (Silva et al., 2021).

En términos generales, niveles elevados de sólidos totales disueltos pueden indicar la presencia de altas concentraciones de sales y minerales, lo que puede tener un impacto en la calidad del agua y afectar su uso para diferentes fines (Falcón et al., 2020).

- **En agua potable:** Altos niveles de TDS pueden afectar el sabor y la apariencia del agua, lo que puede requerir tratamiento adicional para hacerla más agradable al paladar.
- **En agricultura:** Altos niveles de TDS en el agua de riego pueden afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como la absorción de nutrientes (Masindi *et al.*, 2018).
- **En acuicultura:** El TDS del agua en estanques o acuarios de criadero puede afectar la salud y el crecimiento de los organismos acuáticos.

- **En industrias:** La presencia de altos niveles de TDS en el agua utilizada en procesos industriales puede afectar la eficiencia y calidad del producto final.

1.1.8. Parámetros químicos

Los metales pesados son considerados contaminantes ambientales significativos debido a su persistencia en el medio ambiente y su capacidad de bioacumulación en la cadena alimentaria. Estos metales pueden provenir de diversas fuentes, incluyendo actividades industriales, minería, agricultura, vertederos de residuos, uso de combustibles fósiles y desechos urbanos, entre otros (Rambabu *et al.*, 2020).

La contaminación por metales pesados puede tener graves consecuencias para los ecosistemas y la salud humana. Algunos de los efectos negativos incluyen:

- **Toxicidad para la vida acuática:** La presencia de metales pesados en cuerpos de agua puede ser dañina para los organismos acuáticos, afectando su salud y supervivencia.
- **Contaminación de suelos:** La acumulación de metales pesados en el suelo puede disminuir la fertilidad y la capacidad de producción agrícola.
- **Contaminación del aire:** Algunos metales pesados, como el plomo y el mercurio, pueden liberarse al aire a través de procesos industriales o emisiones de vehículos y luego depositarse en suelos y cuerpos de agua.
- **Toxicidad para la salud humana:** La exposición a altas concentraciones de metales pesados puede ser perjudicial para la salud humana, causando problemas neurológicos, daños en órganos, trastornos del desarrollo, entre otros.

El control y la reducción de la contaminación por metales pesados son de suma importancia para proteger el medio ambiente y la salud pública. Los gobiernos y las organizaciones internacionales han establecido regulaciones y normativas para limitar las emisiones y descargas de metales pesados, así como para gestionar adecuadamente los residuos que los contienen (Azzam *et al.*, 2023).

1.1.9. Arsénico total

El arsénico es un metaloide que se encuentra de forma natural en el medio ambiente. También puede ser liberado al ambiente a través de actividades humanas, como la minería, la industria y el uso de productos químicos que contienen arsénico.

El arsénico puede encontrarse en diversas formas en yacimientos minerales y en los procesos de minería. La presencia de arsénico en la minería puede ser tanto natural como resultado de actividades mineras antropogénicas (Nguyen & Mulligan, 2023).

- **Minerales arsenicales:** El arsénico se encuentra comúnmente en ciertos minerales, como arsenopirita (FeAsS), rejalgar (As_4S_4), oropimente (As_2S_3) y enargita (Cu_3AsS_4). Estos minerales pueden contener altas concentraciones de arsénico y pueden encontrarse en depósitos minerales de sulfuros metálicos.
- **Oro y cobre:** La minería de oro y cobre a menudo está asociada con minerales arsenicales. Cuando se extraen y procesan minerales de oro y cobre, el arsénico presente en los minerales puede liberarse como subproducto, contaminando suelos y cuerpos de agua cercanos (Nguyen & Mulligan, 2023).

Existen varios tipos de arsénico, y su clasificación depende de su forma química y sus propiedades. Los principales tipos de arsénico son:

1.1.10. Arsénico inorgánico

Esta forma de arsénico incluye arsénico elemental (As) y diversos compuestos inorgánicos, como el arsenito (As^{3-}), el arseniato (As^{5-}), el arsénico trivalente (As^{3+}) y el arsénico pentavalente (As^{5+}). El arsénico inorgánico puede ser más tóxico y se ha asociado con efectos cancerígenos y no cancerígenos en la salud humana (Mensah *et al.*, 2022).

1.1.11. Arsénico orgánico

Esta forma de arsénico está presente en compuestos que contienen carbono, como los arsénicos metilados, entre los que se incluyen el metilarsénico (MMA) y el dimetilarsénico (DMA). Estos compuestos se producen mediante procesos biológicos en el ambiente y en el cuerpo humano y pueden tener diferentes grados de toxicidad (Nguyen & Mulligan, 2023).

1.1.12. Arsina (arsina gaseosa)

La arsina es un gas incoloro y altamente tóxico que consiste en átomos de arsénico e hidrógeno (AsH_3). Puede formarse durante ciertas actividades industriales o como resultado de la actividad bacteriana en ambientes naturales.

1.1.13. Cobre total

El cobre total se refiere a la suma de todas las formas de cobre presentes en una muestra o sustancia, ya sea en solución acuosa, suelo, sedimentos, alimentos o cualquier otro material. Incluye tanto el cobre presente en forma de iones (Cu^{2+}), como en forma de partículas sólidas o compuestos complejos (Spadaro *et al.*, 2022).

- **Cobre elemental (Cu):** Es el cobre en su forma pura y elemental, el cual se presenta como un metal sólido de color rojizo o naranja. El cobre elemental es el tipo de cobre utilizado en aplicaciones industriales y productos manufacturados (Chamizo, 2018).
- **Cobre oxidado (Cu_2O):** Es un óxido de cobre que se forma cuando el cobre se expone al oxígeno del aire. Es de color rojo y se encuentra en forma de pequeños cristales.
- **Cobre oxidado (CuO):** Es otro óxido de cobre que se forma por la reacción del cobre con el oxígeno del aire o mediante procesos de oxidación controlados en el laboratorio. Es de color negro (Chamizo, 2018).
- **Cobre en compuestos:** El cobre también puede combinarse con otros elementos y formar compuestos. Algunos ejemplos son:
 - **Sulfato de cobre (CuSO_4):** Es una sal de cobre que se forma por la combinación del cobre con ácido sulfúrico. Se utiliza en la industria, la agricultura y en la medicina, y también es conocido como "vitriolo azul" o "blue vitriol".
 - **Cloruro de cobre (CuCl_2):** Es una sal de cobre que se forma por la combinación del cobre con ácido clorhídrico. Tiene aplicaciones en la industria química y en la síntesis de compuestos orgánicos.
 - **Carbonato de cobre (CuCO_3):** Es una sal de cobre que se forma por la combinación del cobre con dióxido de carbono y agua. Es el principal componente del mineral malaquita, que es una fuente importante de cobre.

Cada tipo de cobre tiene propiedades y usos distintos en función de sus características químicas y físicas. El cobre se utiliza en diversas industrias, incluyendo la electrónica, la construcción, la medicina, la industria alimentaria y la energía, debido

a su conductividad eléctrica, su maleabilidad y su resistencia a la corrosión (Spadaro *et al.*, 2022).

1.1.14. Hierro disuelto

Se refiere al hierro que está presente en el agua en forma de iones solubles, principalmente en forma de Fe^{2+} (ión ferroso) y en menor medida en forma de Fe^{3+} (ión férrico). El hierro disuelto en el agua puede provenir de diversas fuentes, incluyendo procesos naturales y actividades humanas. Aquí tienes información relevante sobre el hierro disuelto en el agua (Hansson *et al.*, 2023).

- **Fuentes de hierro disuelto:** El hierro disuelto puede provenir de la erosión natural de rocas y minerales ricos en hierro en el suelo y lechos de ríos. También puede liberarse a partir de sedimentos presentes en cuerpos de agua.
- **Actividades humanas:** Las actividades industriales, agrícolas y mineras pueden contribuir al aumento de los niveles de hierro disuelto en el agua. Las aguas residuales, los desechos industriales y la escorrentía de áreas urbanas y agrícolas pueden contener concentraciones elevadas de hierro disuelto (Walls *et al.*, 2023).

a) Efectos del hierro disuelto

- **Color y turbidez:** El hierro disuelto en concentraciones elevadas puede causar que el agua adquiera un color rojizo o amarillo y aumentar la turbidez, lo que afecta negativamente la apariencia y la claridad del agua.
- **Oxidación y precipitación:** En presencia de oxígeno, el hierro ferroso (Fe^{2+}) tiende a oxidarse y convertirse en hierro férrico (Fe^{3+}), lo que conduce a la formación de partículas sólidas de óxido de hierro, también conocidas como óxidos de hierro rojizo o herrumbre. Estas partículas pueden precipitar y causar obstrucciones en tuberías y sistemas de distribución de agua (Niskanen *et al.*, 2022).

b) Tratamiento del hierro disuelto

El tratamiento del hierro disuelto en el agua generalmente implica la oxidación del hierro ferroso a hierro férrico, seguido de su eliminación a través de procesos de filtración o sedimentación. Algunas técnicas comunes incluyen:

- **Oxidación por aireación:** Se introduce aire en el agua para oxidar el hierro y luego se filtra para eliminar las partículas precipitadas.
- **Filtración:** Los sistemas de filtración pueden retener las partículas de óxido de hierro precipitadas, mejorando la claridad del agua.
- **Tratamiento químico:** Se pueden utilizar agentes químicos para promover la oxidación y precipitación del hierro (Masindi *et al.*, 2018).

1.1.15. Plomo

Es uno de los muchos metales que se extraen en el sector minero. Se encuentra en minerales de plomo, como la galena (sulfuro de plomo), y se extrae a través de diferentes métodos de minería, como la minería a cielo abierto y la minería subterránea. Sin embargo, el plomo también es conocido por sus efectos tóxicos en la salud humana y el medio ambiente, lo que plantea desafíos significativos en términos de manejo y regulación en la industria minera (Raj & Das, 2023).

a) Impactos ambientales y de salud

La minería de plomo puede tener varios impactos ambientales y de salud:

- **Contaminación del agua:** Las operaciones mineras pueden liberar metales pesados, incluido el plomo, al agua a través de la escorrentía de áreas de explotación y la lixiviación de minerales. Esto puede contaminar los cuerpos de agua cercanos y afectar la vida acuática.
- **Contaminación del suelo:** Los residuos y las partículas de plomo liberados durante la extracción y el procesamiento pueden contaminar el suelo circundante, afectando su calidad y capacidad de soportar la vegetación (Mendoza & Espinoza, 2017).
- **Polvo y aire:** La manipulación y el transporte de minerales de plomo pueden generar polvo que contiene partículas de plomo. Esto puede dispersarse en el aire y ser inhalado por las personas, lo que presenta riesgos para la salud.
- **Salud humana:** La exposición al plomo puede tener efectos graves en la salud humana, especialmente en los niños. Puede causar daños neurológicos,

problemas de aprendizaje y desarrollo, e impactos en el sistema cardiovascular (Saatloo *et al.*, 2023).

1.2. Antecedentes

Robbins *et al.* (1999) los investigadores evaluaron los sistemas de drenaje de piedra caliza "anóxicos" (ALD). Los afluentes presentaban un pH igual o inferior a 3,5 y una concentración de oxígeno disuelto menor a 2 mg/l. Los índices de saturación de minerales les indicaron la posibilidad de disolución de calcita y yeso, así como la precipitación de compuestos de Al^{3+} y Fe^{3+} . Los montajes de disolución de calcita y yeso que fueron suspendidos dentro de los sistemas ALD y posteriormente examinados bajo un microscopio revelaron rasgos de disolución, a pesar de los recubrimientos formados por bacterias, biopelículas y precipitados de Fe-Al-Si. Por lo tanto, sugirieron la implementación de un paso de pretratamiento cuando las cargas de Al son elevadas y las tasas de flujo son bajas, tuvieron como resultado la eliminación de Al antes de desviar el agua ácida de la mina hacia materiales capaces de generar alcalinidad.

Hammarstrom *et al.* (2003) según los investigadores caracterizaron de la piedra caliza antes y después del tratamiento, utilizando tanto un flujo constante como el nuevo proceso de lecho de piedra caliza pulsada, utilizaron AMD de una mina de carbón inactiva en Pensilvania (pH = 2.9, Fe = 150 mg/l, acidez = 1000 mg/l $CaCO_3$). El resultado del efluente aumentó inicialmente desde el pH de entrada de 2.9 a más de 7, pero luego disminuyó a menos de 4 durante las 48 horas de contacto. Este revestimiento ralentizó la reacción y evitó que la piedra caliza generara alcalinidad adicional en el sistema. lo que resultó en un efluente con un pH superior a 6 durante la operación. Observaron el desarrollo de zonas ricas en aluminio en las partes interiores de los bordes de los recubrimientos tanto en los experimentos de lecho de piedra caliza pulsada como en los de flujo constante, en respuesta a los cambios de pH en la interfase sólido/solución.

Santomartino & Webb (2007) realizaron un experimento a pequeña escala en un entorno de laboratorio con el propósito de evaluar la durabilidad de un sistema de drenaje de piedra caliza. En este experimento, midió el espesor de la capa de hierro que cubría las partículas de piedra caliza una vez que el sistema había alcanzado su capacidad máxima de neutralización. Se introdujo AMD sintético (con 100 mg/L de hierro y un pH entre 4 y 4,8) en una columna que contenía partículas de piedra caliza durante un período de 1110 horas. La aplicación de la fórmula a situaciones prácticas demostró que, incluso cuando

las concentraciones iniciales de hierro en el AMD eran moderadamente altas, los sistemas de drenaje de piedra caliza seguían siendo efectivos durante uno o varios años. Llegaron a la conclusión de que la piedra caliza podía utilizarse en el tratamiento de AMD cuando las concentraciones de hierro en el flujo de entrada superaban significativamente el límite recomendado de 1 mg/L.

Kleiv & Thornhill (2008) los investigadores presentaron un modelo sencillo de elementos finitos que tuvieron como objetivo prever el desempeño de los drenajes con olivino en relación a la neutralización de soluciones altamente ácidas bajo condiciones anóxicas y de bajo pH. El modelo que utilizaron se basó en la expresión de la velocidad cinética, el equilibrio de disociación del ácido sulfúrico. Para poner a prueba el modelo, llevaron a cabo una serie de experimentos de columna en los que se sometió arena de olivino (0,1–1 mm) a diversas soluciones de ácido sulfúrico diluido (0,0025–0,01 M) que fueron bombeadas a través de la columna a diferentes caudales. El proceso de neutralización, en la experimentación tuvieron como resultado valores relativos de neutralización, fue correctamente descrito por el modelo de predicción simple teniendo valores óptimos.

Miller *et al.* (2013) los investigadores lograron la neutralización del pH. Las condiciones que permitían esta neutralización también eliminaron metales en la solución como zinc y níquel que fueron cuantificadas en un proceso de tratamiento de drenaje ácido de mina que involucraba el uso de piedra caliza simulada en un reactor por lotes. La fase sólida resultante fue analizada mediante un método de extracción secuencial, y las eliminaciones explicaron utilizando modelos de precipitación en la superficie y complejación en la superficie. Los resultados de captación ajustaron a un modelo de precipitación en la superficie ya existente, utilizando valores similares a los encontrados en investigaciones anteriores. Ambos modelos señalaron que la adsorción no era el proceso de eliminación dominante en el sistema de tratamiento. La utilización exclusiva de modelos de adsorción generalmente subestimaría las eliminaciones de metales en los sistemas de tratamiento basados en piedra caliza.

Shim *et al.* (2015) evaluaron la eficacia a largo plazo del tratamiento del drenaje ácido de mina (AMD) mediante la utilización de piedra caliza en Gangneung, Corea, llevó a cabo un estudio que investigó la composición elemental en los arroyos afectados por el AMD. Realizaron comparaciones entre los resultados obtenidos en investigaciones previas y los datos recopilados aproximadamente 10 años después de la introducción de la piedra

caliza. observó una disminución en los arroyos, a excepción del calcio (Ca). Antes de la adición de la piedra caliza, el pH encontraba en el rango de 2,5 a 3. Posteriormente, entre los años 2008 y 2011, el pH mantuvo estable alrededor de 4,5 a 5. Los resultados indicaron que los procesos fisicoquímicos, tales como reacciones redox, dilución durante la mezcla y la coprecipitación/adsorción con óxidos de hierro (hidróxidos), ejercían el control principal sobre la distribución elemental.

Iakovleva *et al.* (2015) los autores estudiaron las calizas y sus modificaciones a partir de finos de flotación (FF) y arenas filtrantes (FS) como adsorbentes potenciales para el tratamiento de AMD y la purificación de aguas residuales a partir de iones Cu, Fe, Zn y Ni. Mediante la metodología de espectroscopia SEM, EDX, MIR y métodos de adsorción de nitrógeno. Como resultados identificaron cantidades óptima de adsorbentes para diferentes modelos y soluciones reales. La cinética de adsorción mostró que el equilibrio de adsorción se alcanzó en aproximadamente 8 h. Los datos cinéticos se ajustan a un modelo de pseudo segundo orden con coeficientes de correlación superiores a 0,999. La capacidad de adsorción fue máxima en el rango de pH de la solución de 6 a 7. En conclusión, la investigación demostró que las calizas modificadas propuestas se pueden utilizar con éxito para la neutralización de AMD y la eliminación de Cu, Fe, Zn y Ni.

Clyde *et al.* (2016) los investigadores diseñaron e implementaron un sistema a escala piloto, monitoreando el grado de pH, las concentraciones de sulfato y metales disueltos del drenaje ácido afluente de la mina. Mediante el método cromatografía iónica 300,0 de la (US EPA), el método 3010, analizaron por espectrometría de emisión atómica y plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) utilizando el método 6010B de la EPA de EE. Como resultado obtuvieron una rebaja en la concentración de sulfato en el reactor de bacterias reductoras de sulfato, el pH del efluente del sistema aumentó desde un nivel tan bajo como 4,5 a más de 6,0, se eliminaron hierro y manganeso disueltos en el reactor de bacterias reductoras de sulfato. En conclusión, la viabilidad de emplear este sistema como una alternativa de tratamiento sostenible de bajo costo y bajo mantenimiento en la mina abandonada de Williams Brothers para garantizar que el efluente de drenaje cumpla con los objetivos de calidad del agua se mostró prometedora.

Zhou *et al.* (2017) según los investigadores han verificado que las partículas nanométricas de FeS tienen un impacto positivo en el desempeño de la capacidad de adsorción en las tecnologías de barreras reactivas permeables (PRB), que fueron empleadas para tratar el

drenaje ácido proveniente de operaciones mineras. Aplicaron soluciones ácidas iniciales con concentraciones de 0,5 mg/L de As(V), Cr (VI) y Sb(V), si bien el coeficiente de permeabilidad del sistema con piedra caliza recubierta de FeS resultó superior al del sistema con piedra caliza en su estado original, este coeficiente se redujo a dos tercios cuando Fe^3 (ac) estuvo presente. Los resultados del análisis mediante XPS indican que las partículas de FeS tienen un efecto eficaz en la reducción y eliminación de As(V), Sb(V) y Cr (VI) de la solución.

Liu *et al.* (2017) según los investigadores utilizaron la bacteria reductora de hierro *Acidiphilium cryptum* JF-5 y una bacteria reductora de sulfato (SRB), recolectadas y purificadas del drenaje de una mina de cobre en el noroeste de la provincia de Sichuan, China. La eficiencia de adsorción de As aumentó de 6,64 mg/g cuando usaron la piedra caliza únicamente, a 187 mg/g al emplear la piedra caliza recubierta de FeS, tanto en experimentos por lotes como en columnas. Sin embargo, observaron que el rendimiento de neutralización de la solución de piedra caliza podría disminuir debido a la pasivación ocasionada por yeso y precipitados de Fe (III). Los cálculos derivados de los experimentos de disolución de piedra caliza recubierta con FeS. Los resultados que obtuvieron sugieren que la piedra caliza recubierta de FeS demostró ser un medio eficaz para remediar soluciones que contenían As, especialmente en situaciones como el drenaje ácido de minas, a través de enfoques como las Barreras Reactivas Permeables.

Masindi *et al.* (2018) los autores investigaron la sostenibilidad ambiental del tratamiento de drenaje ácido de mina (DAM) a escala semiindustrial examinaron mediante la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV), emplearon un proceso integrado que incluye magnesita, cal, carbonato de sodio y tratamiento de burbujeo. Los resultados, revelaron la aptitud del sistema, ya que el costo nivelado del tratamiento de AMD puede ser tan bajo como 112,78 rands/m³ (7,60 euros/m³ o 9,35 dólares/m³). Además, debido a su versatilidad, el sistema se puede utilizar tanto en lugares remotos como de forma independiente o puede tratar la DMAE a escala industrial. En conclusión, la sostenibilidad ambiental emite 29,6 kg CO₂ por m³ de DAM tratado o su huella ambiental asciende a 2,96 Petagramos por metro cúbico (Pt/m³). La combinación energética dependiente de los combustibles fósiles y el consumo de CO₂ líquido de Sudáfrica fueron los principales focos ambientales. El medio ambiente total.

Moodley *et al.* (2018) para los investigadores, el objetivo primordial consistió en abordar la remediación ambiental sostenible del drenaje ácido de mina (DMAE). Los métodos tradicionales utilizados para tratar el DMAE presentan limitaciones en términos de eficacia, diseño impreciso, complejidad en su funcionamiento, costos elevados, uso de sustancias químicas peligrosas, agotamiento de recursos naturales y generación de residuos adicionales. Debido a estas restricciones y la creciente necesidad de sostenibilidad, se está investigando la posibilidad de aprovechar materiales de desecho y subproductos provenientes de diversas industrias, como la láctea, papelera, siderúrgica, vitivinícola, de neumáticos, mariscos e incluso el propio proceso de tratamiento del DMAE, para abordar sus efectos negativos. Como resultado de estas investigaciones, se ha comprobado que estos materiales provenientes de diferentes industrias pueden mitigar o eliminar algunas de las desventajas asociadas con las técnicas y tecnologías convencionales, como la calización, pasivación, remediación biológica in situ, rellenos, cubiertas de vertederos, adsorción, humedales artificiales, desalinización, biorreactores sulfidogénicos, drenajes anóxicos de piedra caliza y barreras reactivas permeables. En conclusión, este documento ofrece una visión general del DMAE y examina los avances en la investigación relacionados con la aplicación exitosa de diversos materiales de desecho y subproductos de otras industrias para la remediación del DMAE.

Skousen *et al.* (2019) los expertos han identificado que el drenaje ácido de mina (AMD) se produce cuando la minería expone minerales metálicos con azufre a condiciones de oxidación. Para controlar esta problemática, implementaron medidas como la gestión de desechos, correcciones alcalinas y la utilización de barreras de oxígeno o capas de agua para detener o disimular la generación de AMD. También aplicaron otras tecnologías de control, como la introducción de materiales alcalinos (como cenizas de carbón y productos de piedra caliza). Para el tratamiento de aguas residuales utilizaron productos químicos alcalinos como $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , NaOH , Na_2CO_3 y NH_3 para un enfoque activo. En conclusión, los sistemas que aplicaron incluyen humedales aerobios y anaerobios, drenajes anóxicos con piedra caliza, humedales de flujo vertical, canales abiertos con piedra caliza y lechos de lixiviación alcalina. Este artículo analiza en detalle el proceso de formación del AMD, las medidas preventivas y de control, y describe los métodos para tratar los vertidos de AMD ya existentes.

Labastida *et al.* (2019) los investigadores realizaron tratamientos de drenaje ácido de minas utilizando calizas, para ello seleccionaron la caliza adecuada para llevar a cabo un

sistema de tratamiento pasivo, la caracterización regular (análisis de carbonato de calcio en cuanto a su pureza, la determinación del área superficial específica y su porosidad) complementaron con un análisis cinético heterogéneo de la disolución de la caliza. También realizaron una remoción parcial de zinc y sílice, y el pH donde aumentó cerca de la neutralidad siendo eficientemente. Para cada experimento midieron la conductividad eléctrica, los niveles de sulfato y el potencial de oxidación-reducción. Los resultados que obtuvieron por microscopía electrónica de barrido-espectroscopía dispersiva de energía y microscopía electrónica de barrido-espectroscopía dispersiva de longitud de onda que permitieron determinar las asociaciones químicas de los elementos en la superficie eficientemente a un 100% de exactitud.

Acharya & Kharel (2020) según los investigadores el proceso de tratar este drenaje ácido de mina (AMD) suele ser complicado, costoso y lleno de desafíos. En este contexto evaluaron las técnicas de predicción y tratamiento en relación al AMD. Las principales fuentes de AMD incluyen la escorrentía y filtración de los depósitos de roca en minas, las operaciones de minas a cielo abierto, los residuos mineros, las rocas de construcción y los cortes en la roca. Aunque los planes de extracción y tratamiento pueden variar según factores como el historial de uso de la tierra, el clima, la topografía, la hidrogeología. Cumpliendo de las normativas de vertido, la garantía de resultados y la formulación de planes de remedio.

Chai *et al.* (2020) para los investigadores su estudio presentó un proceso novedoso que combinaba aireación de dolomita y un lecho filtrante de oxidación. Mediante la metodología de espectrofotometría de o-fenantrolina utilizando un espectrofotómetro ultravioleta Shimadzu UV2450 (la curva estándar se corrigió en cada conjunto de experimentos), el pH se midió con un medidor de pH. Como resultado se reveló que la eficiencia de eliminación de Fe (II) y el Fe total podrían alcanzar casi el 100%, y la eficiencia de eliminación de sulfato y el pH podrían alcanzar el 96,2% y 6,53, respectivamente, después de 3 h de reacción en condiciones óptimas, la dolomita pudo lograr buenos efectos mientras que la tasa de consumo del agente de neutralización fue al menos 3 veces más lenta que la de la piedra caliza. En conclusión, la utilización de la piedra caliza logra una importante reducción de costos mediante el proceso de lecho filtrante de oxidación y aireación de dolomita.

Rambabu *et al.* (2020) los investigadores llevaron a cabo la simulación de la generación previa de drenaje ácido de mina (AMD), incluyeron métodos de tratamiento biológico tanto activos como pasivos, los cuales presentaron notables diferencias en diversos aspectos. Las bacterias reductoras de sulfato (SRB) demostraron la capacidad de eliminar sulfato y metales pesados, generando flujos exentos de toxinas. En conclusión, los biorreactores activos que utilizaron garantizaron una operación más predecible y tiempos de tratamiento más cortos, aunque demandaron inversiones iniciales más substanciales y su implementación a gran escala. En un enfoque más contemporáneo, emplearon fuentes de energía renovable para la purificación del AMD, lo que posiblemente abra camino a soluciones de mitigación más respetuosas con el medio ambiente.

Chen *et al.* (2020) los investigadores desarrollaron un sistema de tratamiento pasivo a nivel piloto en un entorno de campo, con el propósito de llevar a cabo la biorremediación in situ del drenaje ácido de mina (AMD). Donde investigaron la comunidad microbiana presente y sus variaciones a lo largo del proceso. Los datos obtenidos lograron eliminar aproximadamente el 93,7 % del hierro soluble total y alrededor del 99 % del hierro (II) soluble. Mediante el análisis de coordenadas principales, donde el pH bajo y una alta concentración de hierro en el sistema generaban una comunidad microbiana única, en la cual predominaban las bacterias acidófilas oxidantes de hierro y las bacterias reductoras de hierro. Los resultados son valiosos en el contexto de futuras aplicaciones de biorreactores in situ en el campo para la remediación del AMD.

Dutta *et al.* (2020) según los investigadores la variabilidad estacional de AMD en el área afectada de la mina a cielo abierto de Ledo, la citotoxicidad de AMD y el proceso de remediación de AMD. Utilizaron métodos de laboratorio y herramientas instrumentales sofisticadas. Para el estudio de citotoxicidad del agua AMD realizaron utilizando diferentes líneas celulares. El estudio reveló que las muestras de agua de la mina presentaban una alta conductividad ($1,30 - 2,49 \text{ ms cm}^{-1}$) acompañada de niveles elevados de sólidos disueltos totales (1068–1339 ppm), factores que podían modificar la composición iónica del agua. En el transcurso de la investigación, llevaron a cabo un proceso de remediación de AMD en el laboratorio mediante el uso de piedra caliza pulverizada seleccionada por tamaño. Este proceso resultó en una reducción de las concentraciones elementales del agua con AMD.

Rezaie & Anderson (2020) los investigadores realizaron el drenaje ácido de mina (AMD) lo que lograron los niveles bajos de pH y la elevada concentración de metales y metaloides (como cobre, gadolinio, litio, entre otros) en los depósitos mineros. Presentaron tres alternativas más sostenibles con el propósito de disminuir el pH, en última instancia, eliminar el impacto del AMD, requeridas con menos inversión de capital y capaces de abordar eficazmente los problemas de las áreas de vertido. Además, propusieron estrategias gubernamentales que fomenten la colaboración entre profesionales de la industria con diferentes perspectivas, con el fin de abordar la problemática del AMD a través de enfoques innovadores. La ejecución de las estrategias mencionadas y las propuestas, así como una mayor participación de diversas comunidades, tienen el potencial de mejorar la sostenibilidad de las áreas expuestas al AMD.

Silva *et al.* (2021) establecieron un sistema de tratamiento pasivo para el agua de mina ácida (AMD) a escala piloto. En este sistema, utilizaron canales abiertos con lechos de materiales calcáreos, incluyendo lechos calcíticos (CL-I y CL-II) y dolomíticos (DL-I y DL-II), además de combinaciones con zeolitas naturales (NZ) y zeolitas funcionalizadas (FZ). lograron incrementar los niveles de pH desde 3,3 hasta 7,9, 8,2, 7,9 y 7,6, respectivamente. Además, aumento en los niveles de alcalinidad total, pasando de 0 mg CaCO_3 .L-1 a 20, 107, 42 y 34 mg CaCO_3 . L-1, respectivamente. Sin embargo, la combinación CL-II/FZ resultó ser la más eficiente debido a la neutralización y la alta absorción de iones de manganeso, logrando eliminar aproximadamente el 99% de estos contaminantes que normalmente son difíciles de tratar.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3. Identificación del problema

En el ámbito de la actividad minera, uno de los impactos más recurrentes surge debido a los desechos de minas y a la minería informal e ilegal. Esto es consecuencia del hecho de que muchos depósitos minerales están formados por minerales con contenido de azufre, como la pirita, galena, marcasita y blenda, entre otros. Estos minerales, cuando entran en contacto con el agua, en su mayoría debido a la lluvia y las filtraciones, y en presencia de oxígeno, producen líquidos que disuelven metales pesados que terminan siendo vertidos en cuerpos de agua, ocasionando perjuicios en los ecosistemas.

De manera general, la calidad del agua se ve afectada por la actividad minera, las aguas residuales domésticas, las características geológicas ricas en minerales, y las aguas residuales de zonas agrícolas, lo cual conlleva a problemas ambientales (Jiménez & Llanos, 2019). Las consecuencias incluyen la disminución de la disponibilidad de agua dulce para diversos usos como el doméstico, agrícola, industrial y recreativo (Clyde *et al.*, 2016). Los niveles de concentración de metales y los valores de pH presentan una amplia variabilidad debido a la dilución durante las lluvias y la evaporación durante las temporadas secas (Mahmoud *et al.*, 2023).

Históricamente, Mina Los Rosales ha sido un eje de la actividad minera en esta zona y en la región de Puno durante décadas. En la actualidad, la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (SMRL) Acumulación Los Rosales se dedica a la minería de manera formal y ha priorizado la protección ambiental, especialmente en lo que respecta a la calidad del agua en los sistemas de drenaje.

1.4. Enunciados del problema

1.4.1. Problema general

¿Cuánto será la eficiencia del drenaje anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria – Acumulación Los Rosales?

1.4.2. Problemas específicos

¿Qué características tiene el dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales?

¿Cuánto es la concentración de parámetros fisicoquímicos del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales?

1.5. Justificación

Prevenir los impactos medioambientales derivados de los drenajes ácidos procedentes de los pasivos mineros en las concesiones mineras Acumulación Los Rosales, de mineros en formalización que realizan actividades mineras en la zona, representa una preocupación para la población circundante, así como actividades agropecuarias y el posible impacto en los ríos Ccollpacucho, y la cuenca Umayo

Los pasivos mineros se ubican a altitudes que oscilan entre los 3 900 y 4 250 metros sobre el nivel del mar. En esta área, además de operar una Planta de Beneficio con autorización, se encuentran varias concesiones mineras y se lleva a cabo actividad minera informal e ilegal, actividades en formalización de minería artesanal y de pequeña minería, factores que intensifican los impactos ambientales.

Justificación ambiental:

La presencia de drenajes ácidos y pasivos mineros puede tener un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, afectando la vida acuática y la biodiversidad, la implementación de medidas de mitigación y remediación es esencial para preservar la salud de los cuerpos de agua y mantener los ecosistemas en equilibrio (Brousett *et al.*, 2021).

Los drenajes ácidos pueden contaminar tanto las aguas superficiales como las subterráneas, lo que a su vez puede tener implicaciones para la salud humana y animal. Abordar este problema es crucial para evitar la propagación de contaminantes y para salvaguardar la calidad del agua para las generaciones futuras (Merchichi *et al.*, 2022).

La remediación de áreas afectadas por pasivos mineros contribuye a restaurar la calidad del suelo y promover la revegetación, esto ayuda a recuperar los ecosistemas naturales y reduce la erosión del suelo, mitigando los impactos a largo plazo (Moodley *et al.*, 2018).

Justificación social:

Los impactos negativos de los drenajes ácidos pueden afectar directamente a las comunidades cercanas, especialmente si el agua contaminada se utiliza para consumo humano o riego agrícola, las comunidades agrícolas dependen del acceso a agua de calidad para sus cultivos y ganado, la mitigación de los drenajes ácidos garantiza la disponibilidad de recursos hídricos seguros y contribuye a la seguridad alimentaria y el sustento de la población. Para lo cual la participación comunitaria es esencial para abordar los problemas ambientales relacionados con la minería fomenta la participación activa de la comunidad en la toma de decisiones y la gestión de los recursos naturales. Esto fortalece los lazos sociales y empodera a la comunidad para influir en su entorno.

Justificación económica:

La adopción de prácticas responsables y sostenibles en la minería, incluida la mitigación de los drenajes ácidos, contribuye a la sostenibilidad a largo plazo de la industria minera. Para evitar problemas ambientales mejora la reputación y la viabilidad a largo plazo de las operaciones mineras (Silva *et al.*, 2021).

La restauración de áreas afectadas por la minería puede abrir oportunidades para el turismo ecológico y la recreación al aire libre, así como, la rehabilitación de paisajes dañados puede generar ingresos adicionales para las comunidades locales.

Es fundamental el cumplimiento normativo en las regulaciones y estándares ambientales contribuye a evitar sanciones y multas legales. La inversión en medidas de mitigación puede resultar en ahorros a largo plazo al prevenir costos mayores asociados con la remediación de problemas ambientales (Zamora *et al.*, 2018).

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia del drenaje anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria – Acumulación Los Rosales.

1.6.2. Objetivos específicos

Determinar las características del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales.

Determinar la concentración de parámetros fisicoquímicos del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

Es favorable la eficiencia del drenaje anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria – Acumulación Los Rosales.

1.7.2. Hipótesis específicas

Las características del dren anóxico calizo son los adecuados para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales.

La concentración de parámetros fisicoquímicos del dren anóxico calizo es favorable para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

1.8. Lugar de estudio

1.8.1. Ubicación

El sitio de estudio está localizada al sur del país, pertenece al distrito de Vilque, Provincia de Puno, Región de Puno, a 3 980 m.s.n.m. a una distancia del distrito de Vilque de 6 kilómetros en dirección Sur Oeste determinado por coordenadas UTM en el sistema WGS-84.

Tabla 2

Coordenadas del área de estudio

N°	Este	Norte	Elevación (msnm)*
1	362 564	8 251 492	3 986
2	362 748	8 251 589	3 984
3	363 058	8 251 479	3 940
4	362 799	8 251 274	3 949

Coordenadas UTM en el sistema WGS-84 *metros sobre el nivel del mar (msnm)

1.8.2. Accesibilidad

La ruta desde la ciudad de Lima hasta la planta Los Rosales, se realiza a través de una carretera pavimentada que conduce a la ciudad de Puno. Desde allí, se toma un desvío que sigue una carretera de tierra hasta llegar al distrito de Vilque. Posteriormente, se continúa el trayecto por un camino accesible para vehículos hasta

llegar a la planta Concentradora. El acceso se detalla en la tabla correspondiente.

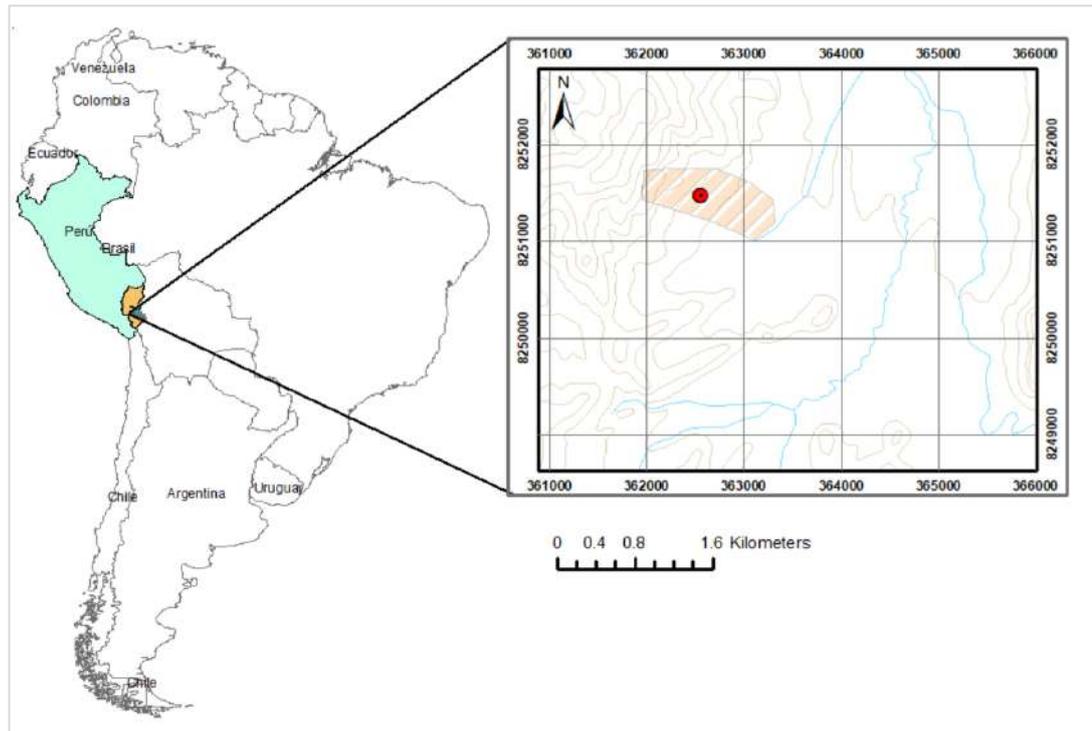


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio

Tabla 3

Acceso al lugar

Recorrido	Distancia (km)	Tiempo (hrs)	Carretera
Lima - Arequipa	1030	16:00	asfaltada
Arequipa - Puno	326	06:00	asfaltada
Puno - Vilque	35	01:00	asfaltada
Vilque – Los rosales	8	00:50	afirmada
Total	1399	23:50	-

1.8.3. Clima

En Vilque, los periodos estivales son breves, con temperaturas frescas y cielos nublados. Los inviernos son de corta duración, extremadamente fríos y mayormente despejados, con condiciones de sequedad durante todo el año. A lo largo de las estaciones, la temperatura tiende a oscilar generalmente entre $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo poco común que caiga por debajo de $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ o supere los $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (SENAMHI, 2022).

1.8.4. Geología

a) Geomorfología y suelos

En términos generales, la región se compone principalmente de una secuencia de sedimentos que pertenecen al Cretáceo Superior y al Terciario Inferior.

Estos sedimentos están compuestos principalmente por areniscas arcósicas, intercaladas con capas de lutitas y conglomerados. Debajo de esta formación se encuentran afloramientos de areniscas y calizas de las formaciones Vilquechico, Contacucho y Ayabacas. Por encima de estas rocas, emergen materiales volcánicos cuaternarios, incluyendo flujos piroclásticos y depósitos andesíticos. Las rocas sedimentarias siguen una dirección predominante hacia el noroeste, formando pliegues de diversas dimensiones. El área de estudio está ubicada en el flanco noreste del anticlinal Cabanillas.

b) Recurso suelos

La capacidad principal de uso de los suelos en la región se identifica en las tierras designadas como "Protección". Debido a su notable limitación e inadecuación, estas tierras no son aptas para ser utilizadas con fines agrícolas, ganaderos ni forestales, considerando los límites económicos. Estas categorías de suelos abarcan una vasta extensión en el país, ocupando aproximadamente un total de 33,002,260 hectáreas, lo que representa el 25,68% de la superficie territorial (MINAM, 2014).

1.8.5. Hidrología

El sistema hidrológico en la región está compuesto por el río Vilque y por las aguas de desecho. En relación al río, su caudal varía a lo largo del año, presentando un flujo más abundante en los meses de septiembre a marzo debido a las intensas precipitaciones. Por otro lado, en los meses de abril a agosto, durante la temporada de sequía, el caudal disminuye hasta en un 60%. Este recurso hídrico se utiliza tanto para actividades pecuarias como para satisfacer las necesidades de la población en el campamento.

En cuanto a las aguas de desecho, se trata de un manantial cercano al campamento minero que fluye a un ritmo de aproximadamente 1,5 litros por minuto y con un nivel insignificante de turbidez. Estas aguas se destinan al uso en la planta concentradora.

Con el propósito de evaluar el balance general entre las aguas superficiales y las aguas industriales que ingresan al entorno, se establecieron cinco puntos de monitoreo. En estos puntos se tomaron muestras para realizar análisis físico-químicos.

El manantial de agua está situado en las proximidades del campamento. Estas aguas se destinarán al uso industrial en el proceso metalúrgico, y cuentan con un pH de 6,8. Serán transportadas hasta el depósito mediante una tubería de PVC con un diámetro de 2 pulgadas. Se tomó una muestra de esta fuente como muestra testigo para análisis y evaluación.

Calidad de agua

La evaluación de la calidad del agua se llevó a cabo mediante la recopilación de muestras durante un proceso de monitoreo realizado en un punto específico. El cual este situado al lado derecho de las áreas de almacenamiento de desechos mineros y en una posición más baja, a una distancia de alrededor de 300 metros de dichas áreas.

1.8.6. Flora y fauna

a) Flora.

Se llevó a cabo una evaluación en la región que abarca el espacio directamente influenciado por la planta concentradora Los Rosales. En esta área de análisis, en términos generales, se encuentra cubierta por una variedad de vegetación compuesta mayormente por un tipo de vegetal rastrero conocido como champa, que se extiende de manera similar a una alfombra. Además, se han identificado diversas especies de plantas, tales como ocoha, ichu, huamanripa, ortiga, tola, muña, salvia y otros.

b) Fauna

En las pendientes donde la vegetación es de diferentes tipos, se han detectado los mamíferos más habituales como el zorro, el zorrillo y diversos tipos de roedores. Del mismo modo, la vida silvestre se adapta según los recursos disponibles para su supervivencia, de modo que en las áreas más empinadas residen aves rapaces como los buitres y las domínicas.

Tabla 4

Especies de flora y fauna del ámbito de estudio

Nombre científico	Nombre común
<i>Buddleja Coriacea</i>	Qolle
<i>Buddleja Incana</i>	Quishuar
<i>Cupressus Sp.</i>	Cipres
<i>Pinus Sp</i>	Pino
<i>Lepidiphyllum Quadrangulare</i>	T´ola
<i>Eupatorium Gilbertti</i>	Chilca
<i>Minthostachys Tomentosa</i>	Muña
<i>Senecio Vulgaris</i>	Chachacoma
<i>Alchemilia Pinnata</i>	Sillo Sillo
<i>Bromus Unioloides</i>	Cebadilla
<i>Lupinus Chlorolepis</i>	K´era
<i>Calamagrostis Sp.</i>	Crespillo
<i>Distichlis Humilis</i>	Gramma Salada
<i>Festuca Dolichophylla</i>	Chillihua

Fuente: (Brousett *et al.*, 2021)

1.9. Población

Se ha tomado en cuenta como población a la cifra total de 10 pasivos ambientales mineros de la concesión, que incluye desmontes de minas, bocas de mina y campamentos abandonados. Esta cifra ha sido actualizada y validada mediante la Resolución Ministerial N° 200-2021-MINEM/DM, a nivel nacional (ver figura 3).

1.10. Muestra

Se ha tenido en cuenta el flujo de agua ácida derivado de la actividad minera inactiva y de relevancia histórica en la concesión minera denominada Acumulación Los Rosales, la cual se encuentra en el distrito de Vilque, en la provincia y departamento de Puno, y está vinculada a la cuenca Umayo. La muestra inicial es del punto de entrada de Labor

Candelaria.

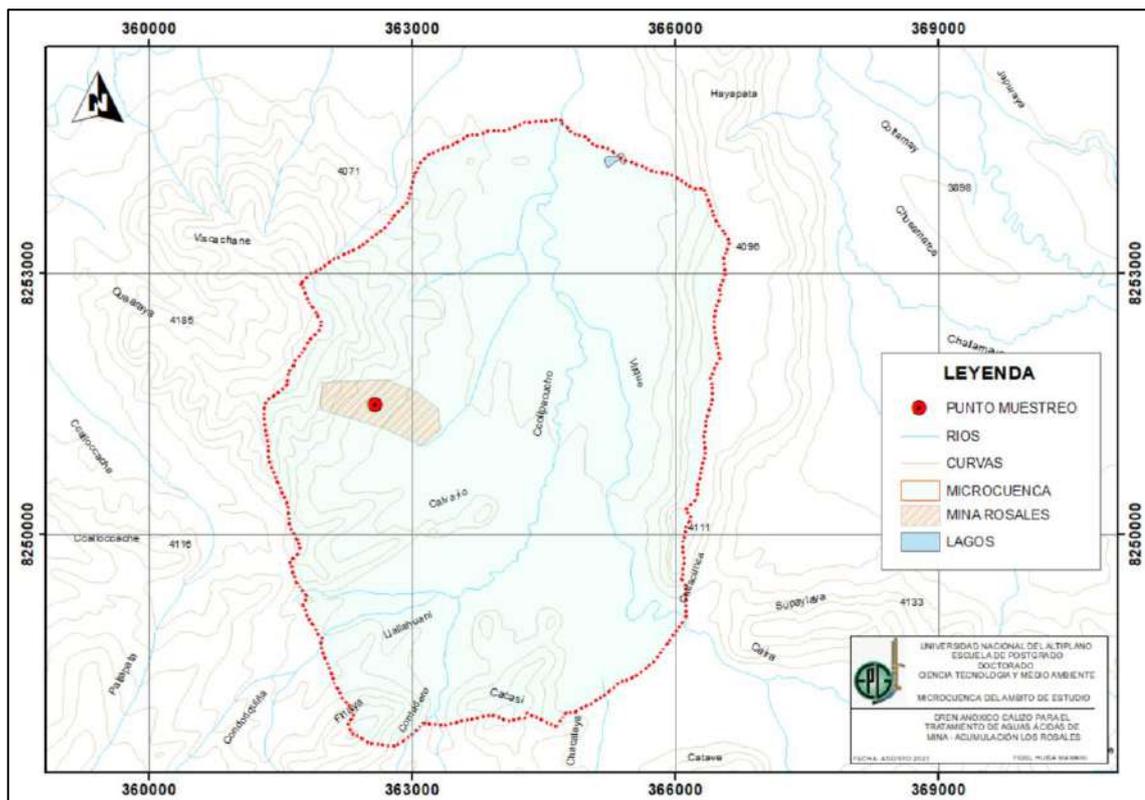


Figura 3. Micro cuenca Los Rosales

Fuente: Google Earth

1.11. Método de investigación

La investigación es aplicada y el diseño es experimental, cuantitativo. Reconociendo las posibles limitaciones del diseño experimental, como la variabilidad natural, la posible falta de control total sobre ciertos factores o el tamaño limitado de la muestra (C. Fernandez & Baptista, 2014). Lo implica la comparación de diferentes condiciones o enfoques, describe cómo seleccionar y asignar los grupos de tratamiento y control durante el diseño de anóxico calizo (Ñaupas *et al.*, 2014).

1.11.1. Materia prima, equipos, materiales.

a) Materiales.

Piedra caliza (fragmentada).

La cantidad completa de roca caliza triturada empleada en los ensayos experimentales fue de 51,78 kilogramos, con un contenido del 89% de CaCO_3 . Esta roca caliza fue suministrada por la cantera Taya Taya del distrito de

Cabanillas.



Figura 4. Granulometría de la caliza

b) Equipos

- Microbalanza Analítica Metler Toledo/MS205DU
- Multiparámetro de mesa SI Analytics/Prolab 2500
- Destilador de Agua Water Still/ 2001/2
- Equipo de posicionamiento GPS 600WE/1194
- Espectrómetro de Emisión Atómica de Plasma por Microondas Marca: AGILENT TECHNOLOGIES/Modelo: 4210/Serie: MY20339003
- Multiparámetro HANNA modelo HI98194,

c) Materiales

- Cooler grandes y pequeños,
- Frascos de plásticos y vidrios,
- Baldes de plásticos transparente de primer uso y limpios,
- Guantes de vinilo, nitrilo
- Mascarillas,
- Pizetas,

Tabla 5

Características a considerar en el monitoreo de agua

Monitoreo de Agua	
Transporte	Vehículo para transporte terrestre (camioneta)
Recursos y reactivo	Agua destilada, preservantes, soluciones estándar. Etiquetas, fichas de datos de campo, cadena de custodia y hojas de verificación, certificados entre otros.
Formatos	Formatos de verificación, certificados entre otros.
Permisos	Autorización de Acumulación Los Rosales.
Material cartográfico	Mapa hidrográfico, topográficos
EPP	Zapatos de seguridad, botas de jebe cortas y largas, guantes de nitrilo, barbijos, protectores de cabeza.
Otros	Plumones indelebles, lápices, cinta adhesiva, papel secante, cinta

Fuente: (MINAM, 2017)

1.12. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

1.12.1. Determinar las características del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria – Acumulación Los Rosales.

Para definir las características del dren anóxico calizo se diseñó un sistema anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina en la Labor Candelaria.

Procedimiento metodológico

La metodología manejada para determinar los análisis de agua se realizó en etapas:

a) Caracterización del agua ácida:

Se recolecta muestras representativas del agua ácida de la mina Labor Candelaria.

Se realiza análisis químicos para determinar los niveles de pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, potencial de oxidación/ reducción y metales pesados.

Se identifica los contaminantes específicos presentes en el agua y su concentración (Acharya & Kharel, 2020).

b) Selección de materiales:

Se evaluó diferentes recursos de carbonato de calcio, como caliza, dolomita u otros, considerando su disponibilidad, reactividad y costo viendo el porcentaje de pureza y principalmente la distancia al proyecto (Merchichi *et al.*, 2022).

Se realizó pruebas de laboratorio para determinar la capacidad de neutralización y precipitación de metales de los materiales seleccionados.



Figura 5. Disposición de la granulometría de la caliza

c) Diseño del sistema del dren anóxico calizo:

Diseñamos la configuración del sistema, incluyendo la disposición de los recursos de drenaje anóxico calizo (León, 2018).

Se considero los aspectos como la profundidad de los lechos de materiales, la geometría del sistema y la velocidad de flujo para asegurar un contacto adecuado entre el agua y los materiales de neutralización.

La similitud de las condiciones desde el depósito de gran capacidad para acopiar el agua ácida que proviene de la mina en el tiempo y distancia adecuado evitando que sus características varíen de sus condiciones naturales como presión, temperatura, proponiendo paralelamente tres tuberías que van conectados a los reactores que también cada una tiene sus características por la granulometría de la piedra caliza. Figura 6.

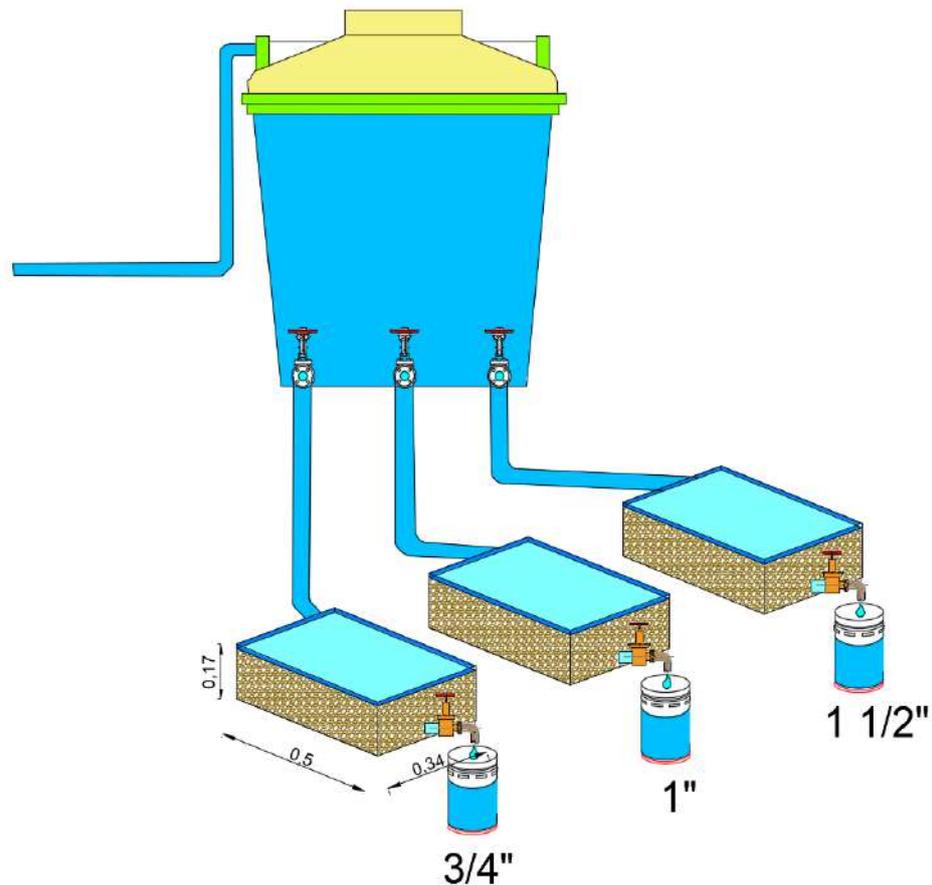


Figura 6. Diseño del reactor para el drenaje del anóxico calizo

d) Pruebas de reactores de laboratorio:

Se construyó los reactores de laboratorio representativas del diseño propuesto. La propuesta que paralelamente se condicionen a la configuración geométrica de los canales y realizar los ensayos en tres reactores paralelos y poder monitorear a nivel laboratorio los parámetros físico químicos y parámetros inorgánicos principales.

Se llena los reactores con los materiales de drenaje anóxico calizo seleccionados en diferentes granulometrías de 3/4, 1, y 1 1/2 pulgada (Jiménez & Llanos, 2019).

Se simulo un flujo de agua ácida a través de las columnas monitoreando el pH, oxígeno disuelto, conductividad, potencial de oxidación/reducción y la concentración de metales en el efluente para evaluar la eficiencia del proceso (Zamora et al., 2018).



Figura 7. Reactor para drenaje anóxico calizo

Tabla 6

Parámetros de medición

Parámetros	Valor	Unidades
Dato Inicial pH	2,93	pH
Caudal	0.50	L/min
Área	0,17	m ²
Agua Ácida	19	litros
Altura de Caliza	17	cm
Granulometría	¾, 1, 1 ½	pulgadas

e) Cálculo de la densidad del reactor

Masa: se pesa una cantidad conocida de material del dren anóxico calizo utilizando una balanza adecuada.

Volumen: El volumen depende de la forma del dren anóxico. En este caso se trabajó con una forma regular, se usó la fórmula apropiada para esa forma geométrica (Falcón *et al.*, 2020).

Donde:

$$\text{Densidad } (\rho) = \text{Masa} / \text{Volumen}$$

La densidad del dren anóxico calizo sería de aproximadamente 0,67 gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

1.12.2. Determinar la eficiencia del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales.

a) Etapa en campo

Durante esta fase, se reconocieron las particularidades del terreno afectado, determinando el lugar de extracción de muestras. Se efectuó una descripción integral que engloba la posición geográfica, la naturaleza del entorno contaminado y un análisis geológico preliminar.

b) Etapa de monitoreo

Se realizó el análisis in-situ de parámetros fisicoquímicos, tomados en los puntos de muestreo, con multiparámetro tipo Hanna HI98194, siguiendo el protocolo para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016 (MINAM, 2017)

Toma de Muestras:

- Se uso guantes desechables para evitar la contaminación.
- Se realizo mediciones in situ de los parámetros considerados.
- Se lleno los envases de forma cilíndrica sin desbordarlas para evitar la pérdida de muestras.
- Se rotuló los envases indicando fecha, hora, tipo de muestra, responsable
- Se cerro herméticamente los envases.

Se registro la información sobre cada muestra en un cuaderno de campo, incluyendo detalles del punto de muestreo y las condiciones in situ o cadenas de custodia.



Figura 8. Envases de toma de muestras para el análisis en laboratorio

Medición de parámetros fisicoquímicos:

La medición de parámetros fisicoquímicos se llevó a cabo in-situ, siguiendo las normas técnicas establecidas para cada parámetro (Astonitas *et al.*, 2021). Los siguientes parámetros fueron medidos

pH: Se midió conforme a las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Según estas normas, el pH del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5, mientras que para el agua superficial debe mantenerse entre 6,5 y 9.

Conductividad: Se utilizó la norma internacional ISO 7888

Oxígeno disuelto: Se siguió la norma EPA, que establece que el agua superficial debe tener un nivel de oxígeno disuelto de al menos 5 mg/L para mantener la vida acuática.

Potencial de oxidación/reducción (ORP): Se aplicó la norma ISO 5667-10 para el muestreo y parámetros fisicoquímicos.

Sólidos totales disueltos: Se midieron según la norma ISO 7888, con referencia a "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" de la Asociación Americana de Salud Pública (APHA). Se utilizó el método 2540 C (Fikadu, 2022).

Metales pesados: Se utilizó la norma EPA que establece límites máximos para diversos metales pesados en el agua.

	Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. Parq. Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa. Teléf: (054) 442524 Fax: (054) 444682. www.laboratoriosanaliticosdesur.com		H.C.C.N°: CADENA DE CUSTODIA - ALIMENTOS Y PRODUCTOS ELABORADOS		HOJA: de Código Reg: F-907-15 Aprob por: 60 Versión: 00 Fecha Rev: 15/11/2021																																																	
	Señores: Dirección: Atención: Responsable de la toma de muestra:		E-mail: DNIRUC: Teléfonos: Proyecto:		Consultas: Ing. Sixto Juárez Ing. Omar Juárez e-mail: las@laboratoriosanaliticosdesur.c																																																	
Código LAS (campo para ser llenado solo por el laboratorio)	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Grupo	Subgrupo	Código de campo	Nombre de la Muestra	N° de Lote	Fecha de Producción	Conservación **	Lugar de muestreo	Entidad	Tipo de envase	Numero de unidades	Cantidad de muestra x unit (g. o mL.)																																								
											Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart	Plastico	Otro																																									
Observaciones:																																																						
NOTA: Colocar el nombre de la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el informe de ensayo																																																						
Campos para llenarse cuando se reciben las muestras en LAS																																																						
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">(*) Conservación</td> <td colspan="2">SI</td> <td colspan="2">NO</td> <td colspan="2">Fecha de recepción:</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">T° Ambiente</td> <td colspan="2">T.A</td> <td colspan="2">Recipientes aborados</td> <td colspan="2">Hora de recepción:</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Refrigeración</td> <td colspan="2">R.E</td> <td colspan="2">Muestras recibidas (rotas)</td> <td colspan="2">Temperatura CV:</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Congelación</td> <td colspan="2">C.O</td> <td colspan="2">Descripción de muestras:</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>															(*) Conservación		SI		NO		Fecha de recepción:				T° Ambiente		T.A		Recipientes aborados		Hora de recepción:				Refrigeración		R.E		Muestras recibidas (rotas)		Temperatura CV:				Congelación		C.O		Descripción de muestras:					
(*) Conservación		SI		NO		Fecha de recepción:																																																
T° Ambiente		T.A		Recipientes aborados		Hora de recepción:																																																
Refrigeración		R.E		Muestras recibidas (rotas)		Temperatura CV:																																																
Congelación		C.O		Descripción de muestras:																																																		

Figura 9. Cadena de custodia para ensayo de agua

Fuente: Laboratorio LAS

Lugar:		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO																								
Laboratorio UNAP		FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS ACREDITADA POR ICACT - LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL																								
Proyección: UTM Datum: WGS84		Experimento Drenaje Anódico Calcio (DAC) para el tratamiento del drenaje ácido mina - H18134																								
PM	N°	Nombre	Este	Tipo de reactor de experimento DAC	Peso de caliza (kg)	Provincia:	Puno	Caudal inicial (m ³ /min)	Tiempo de retención (min/hora)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad eléctrica (µS/cm) CE	Resistencia eléctrica (MΩcm)	mVpH	pH	Potencial de hidrogeno (mVORP)	Potencial de oxidación/reducción (mVORP)	%de saturación de oxígeno disuelto	Sólidos totales disueltos (ppm)Tds	Fecha:	20/06/2023	Agua de mar	Hora:	Temperatura	Presión atmosférica		
																									Distrito:	Departamento:
	1																									
	2																									
	3																									
	4																									
	5																									
	6																									
	7																									
	8																									
	9																									
	10																									
	11																									
	12																									
	13																									
	14																									
	15																									
	16																									
	17																									
	18																									
	19																									
	20																									

Figura 10. Formato de reporte parámetros fisicoquímico

Fuente: Facultad de Ingeniería de Minas UNA-P

c) Etapa de análisis

En la siguiente tabla se observa el método para determinar la concentración de metales pesados utilizado por el laboratorio LAS.

- **Parámetros ensayados en laboratorio**

Se recolectaron muestras de agua con el propósito de ser sometidas a análisis en el Laboratorio de LAS, el cual cuenta con acreditación según la norma ISO/IEC 17025:2017 otorgada por el "Servicio de Acreditación Internacional" (IAS) para los servicios ambientales. La muestra obtenida en el terreno fue etiquetada con un código que permite identificar el lugar de muestreo, la fecha, la hora, el tipo de matriz y los parámetros que serán analizados (Jiménez y Llanos, 2019).

- **Espectrómetro de emisión atómica de plasma por microondas 4210 MP-AES**

Curvas de calibración:

La curva de referencia inicial debe incluir un blanco reactivo y patrones de estándares que abarquen todo el rango de concentraciones que se utilizó en los análisis de laboratorio. Esto posibilita la evaluación del método analítico.

Las curvas de calibración pueden adoptar una forma lineal o no lineal. En la mayoría de los casos, cuando la curva es lineal, se recurre a la ley de Beer. Para determinar la curva de calibración que mejor describe la relación entre la absorbancia (A) y la concentración (C), se realizó cálculos de regresión lineal de la siguiente manera (Silva et al., 2021).

$$A = mC + b \quad (01)$$

Se puede demostrar de la siguiente manera:

$$m = \frac{n \sum AC - \sum A \sum C}{n \sum C^2 - (\sum C)^2} \quad (02)$$

$$b = \frac{\sum A}{n} - m \frac{\sum C}{n} \quad (03)$$

Donde:

A = absorbancia.

C = concentración.

m = es la pendiente de la curva de calibración (también denominada “factor de calibración”)

b = es la intersección del valor de absorbancia o del eje “y”.

n = es el número de observaciones

Tabla 7

Procedimientos de evaluación empleados por el laboratorio para el análisis en muestras de agua.

Ensayo	Denominación	Cod-Serv	Norma / Referencia
Nor	Norte	MA 1000	Estándar GPS
Altitud	Altitud	MA 1000	Estándar GPS
Est	Este	MA 1000	Estándar GPS
Temperatura	Temperatura	MA 1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF.23rd Ed.2017. Part 2550 B. Temperature. Laboratory and Field Methods.
pH	Potencial hidrógeno	MA 1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF.23rd Ed.2017. Part 4500.O G+B pH value. Electrometric Method.
Oxig(d)	Oxígeno disuelto (Medición en campo)	MA 1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF.23rd Ed.2017. Part 4500 O G. Oxigen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
Conductiv	Conductividad	MA 1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF.23rd Ed.2017. Part 2510 B. Conductivity Laboratory Method. EPA Method 200.8 Rev. 5.4.1994. Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.
Metales Totales Por ICP MS	Metales Totales Por ICP MS	MA 0747	Metales validados (Aplicado fuera del alcance) (Boro, Bismuto, Calcio, Cerio, Cesio, Hierro, Galio, Germanio, Hafnio, indio, Potasio, Lantano, Litio, Lutecio, Magnesio, Sodio, Niobio, Fósforo, Rubidio, Azufre, Silicio, Sílice, Silicato, Estaño, Estroncio, Tantalio, Terbio, Teluro, Titanio, Wolframio, Iterbio, Zirconio).

Fuente: Laboratorio (LAS)

d) Concentración de metales pesados

Para ver el comportamiento de la concentración de metales pesados como Zinc (Zn), Cobre (Cu), Arsénico (As), Hierro (Fe) y Plomo (Pb) se utilizó el diagrama de Pourbaix,

también conocido como diagrama de potencial-pH o diagrama de equilibrio de potencial-pH, es una herramienta gráfica que se utiliza en la química para predecir la estabilidad de diferentes especies químicas en función del pH y del potencial electroquímico (Falcón *et al.*, 2020).

Eje horizontal (potencial): El eje horizontal del diagrama representa el potencial electroquímico, a menudo en una escala negativa. Este potencial es una medida de la tendencia del material a ganar o perder electrones.

Eje vertical (pH): El eje vertical representa el pH, que es una medida de la acidez o alcalinidad de la solución. Puede variar de valores bajos (ácido) a valores altos (alcalino o básico).

Regiones de estabilidad: El diagrama muestra diferentes regiones que representan las especies químicas que pueden estar presentes en una solución a diferentes combinaciones de potencial y pH. Cada región corresponde a un estado de oxidación particular del elemento y a una forma química específica.

Líneas de equilibrio: En el diagrama, se encontraron líneas que separan diferentes regiones. Estas líneas representan los equilibrios entre diferentes especies químicas. Las especies que se encuentran a la derecha de la línea están más estables en esas condiciones, mientras que las especies a la izquierda son menos estables.

e) Etapa de predicción

Para llevar a cabo este proyecto, se empleó el programa informático MINITAB en su versión 19. Utilizando este software, se evaluaron los factores ambientales en términos de riesgo, siguiendo un procedimiento similar al aplicado en el análisis de aguas. Con el propósito de descubrir la disminución de los niveles de concentración de metales pesados como Zinc (Zn), Cobre (Cu), Arsénico (As), Hierro (Fe) y Plomo (Pb) en el punto de muestreo, se consideraron los resultados de metales pesados presentes en el agua, enfocándose en aquellos que excedían los criterios de calidad establecidos en la norma.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. Determinar la eficacia del drenaje anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria – Acumulación Los Rosales.

Para determinar la eficacia del drenaje anóxico calizo para el tratamiento de agua, fue necesario realizar un monitoreo y una evaluación continua de los parámetros de calidad del agua antes y después de pasar por el sistema de tratamiento así como indica (Chen *et al.*, 2020).

Para el muestreo del agua, se realizó en la bocamina de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales, el muestreo se realizó en diferentes etapas y periodos. Tomándose en cuenta los parámetros como el pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos (TDS) y potencial de oxidación y reducción (ORP) y la concentración de metales pesados (hierro, plomo, cobre, arsénico y zinc). Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental (LMEA) de la facultad de Ingeniería de Minas y el laboratorio de (LAS). Se ha elaborado los reactores representativos del diseño propuesto, así como los investigadores elaboraron (Merchichi *et al.*, 2022), se llenaron los reactores con los materiales de drenaje anóxico calizo considerando diferentes granulometría de de 3/4, 1, y 1 1/2 pulgada, roca caliza con una pureza de 90 %

Se simulo un flujo de agua ácida a través de las columnas monitoreando el pH, oxígeno disuelto, conductividad, potencial de oxidación/reducción y la concentración de metales en el efluente para evaluar la eficiencia del proceso.

2.2. Determinar las características del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales.

Para el diseño del dren anóxico calizo depende de varios factores, como la tasa de flujo de agua que ingresa al reactor, el tiempo de retención hidráulica deseado y la capacidad de tratamiento requerida.

Cálculo del volumen del reactor

Se uso la fórmula siguiente para calcular el volumen del reactor:

Volumen del reactor (m³) = Q (m³/s) x Tiempo de retención hidráulica (segundos)

Donde:

Q = Tasa de flujo de agua

$$\text{Volumen del reactor} = 20 \text{ L/s} \times 0,043 \text{ s} = 0,867 \text{ cm}^3$$

Cálculo de cantidad de caliza para dren anóxico calizo

La cantidad de caliza para un tiempo de residencia puede calcularse de acuerdo a la siguiente formula

$$M = \frac{Q * \rho * t_R}{V_P} \quad (04)$$

Donde:

Q = caudal del efluente a tratar.

ρ = densidad de la caliza suelta (0,67 g/cm³).

tR = tiempo de residencia, para lograr el nivel máximo de generación de alcalinidad.

Vp = volumen de poros (0,3 a 0,5)

Cálculo del periodo de tiempo de caliza requerida

Para contrarrestar las disminuciones causadas por la disolución durante un período de tiempo específico, la cantidad de caliza necesaria usamos de la siguiente manera:

$$M = \frac{Q * T * C}{x} \quad (05)$$

Dónde:

Q = caudal del efluente a tratar.

C = concentración esperada de alcalinidad en el efluente tras el tratamiento.

T = periodo de tratamiento que se pretende.

X = contenido en carbonato cálcico de la caliza expresado en forma decimal.

Sumamos las dos ecuaciones en representación de la cantidad total de caliza requerida para el tratamiento:

$$M = \frac{Q \cdot \rho \cdot t_R}{V_P} + \frac{Q \cdot T \cdot C}{x} \quad (06)$$

Tabla 8

Dimensiones del dren anóxico calizo

Parámetros	Valor	Unidades
Dato inicial pH	2,93	pH
Caudal	0,50	L/min
Área	0,17	m ²
Volumen Agua Ácida	19	Litros
Altura de caliza	17	cm
Granulometría	¾, 1, 1 ½	pulgadas

2.3. Determinar la concentración de parámetros fisicoquímicos del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos del dren anóxico calizo se tomó de acuerdo al diseño muestras de los efluentes de los reactores a nivel laboratorio de tres granulometrías ¾”, 1”, 1 ½” en diferentes tiempos siguiendo los protocolos de acuerdo a las normativas nacionales así como cuidando las condiciones de seguridad y sus respectivos equipos de protección personal de monitoreo desde el acopio de la muestra de la mina y las condiciones de traslado hasta el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas y los resultados se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 9

Parámetros fisicoquímicos de agua acida para una granulometría de 1 ½ "

1 ½ " de granulometría				
OD (ppm)	CE (µS/cm)	pH	ORP (mV)	TDS (ppm)
2,03	1741	4,92	27,5	935
2,13	1716	5,14	22,8	820
2,07	1739	5,19	23,3	865
2,12	1724	5,68	30,0	902
2,29	1731	5,70	42,9	828
2,21	1719	5,91	37,6	918
2,18	1727	6,82	42,5	864
2,09	1723	6,59	56,5	813
2,10	1742	6,41	47,1	821
2,08	1748	6,13	47,0	829
2,08	1723	6,13	49,9	815
2,08	1735	5,81	50,7	827

2.3.1. Parámetros fisicoquímicos para granulometría de 1 1/2"

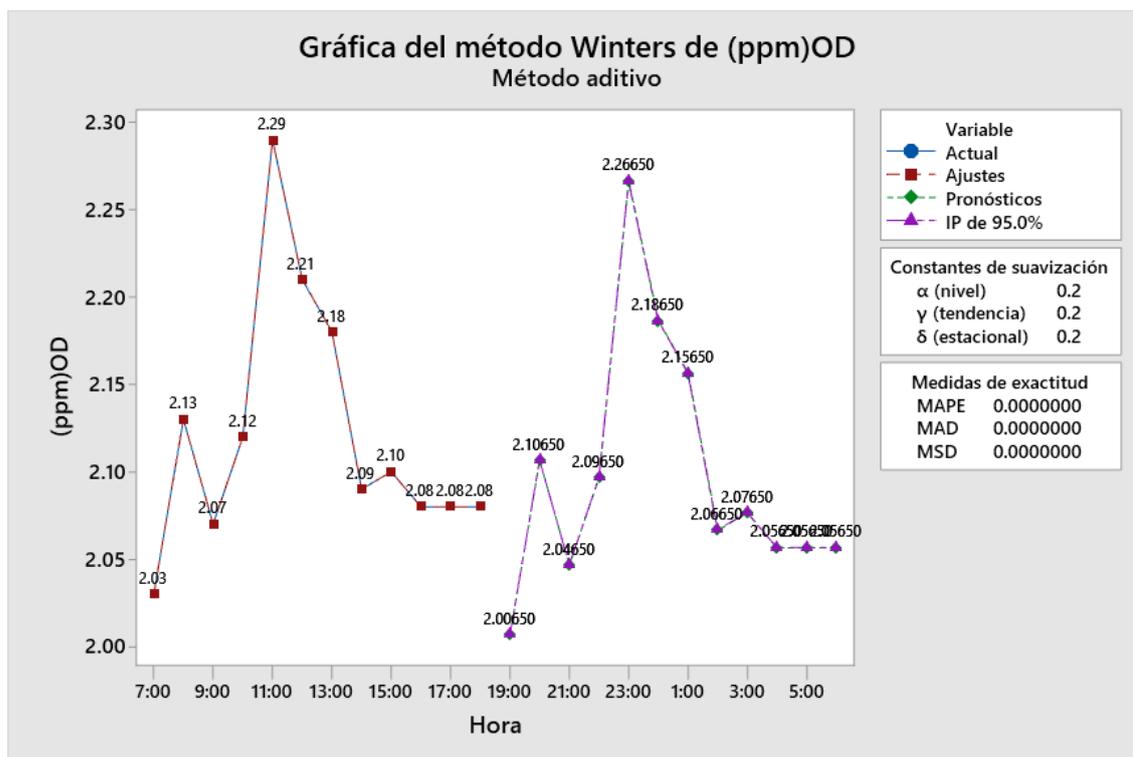


Figura 11. Predicciones y evaluación del agua en función al oxígeno disuelto (OD)

Según la figura 11, nos indica que; se predice que el oxígeno disuelto toma un valor máximo de 2,29 ppm lo que es un valor muy bajo para evaluar la calidad del agua en comparación al ECA llegando un valor de 4 a 6 ppm para indicar que hay oxígeno suficiente para la existencia de las especies.

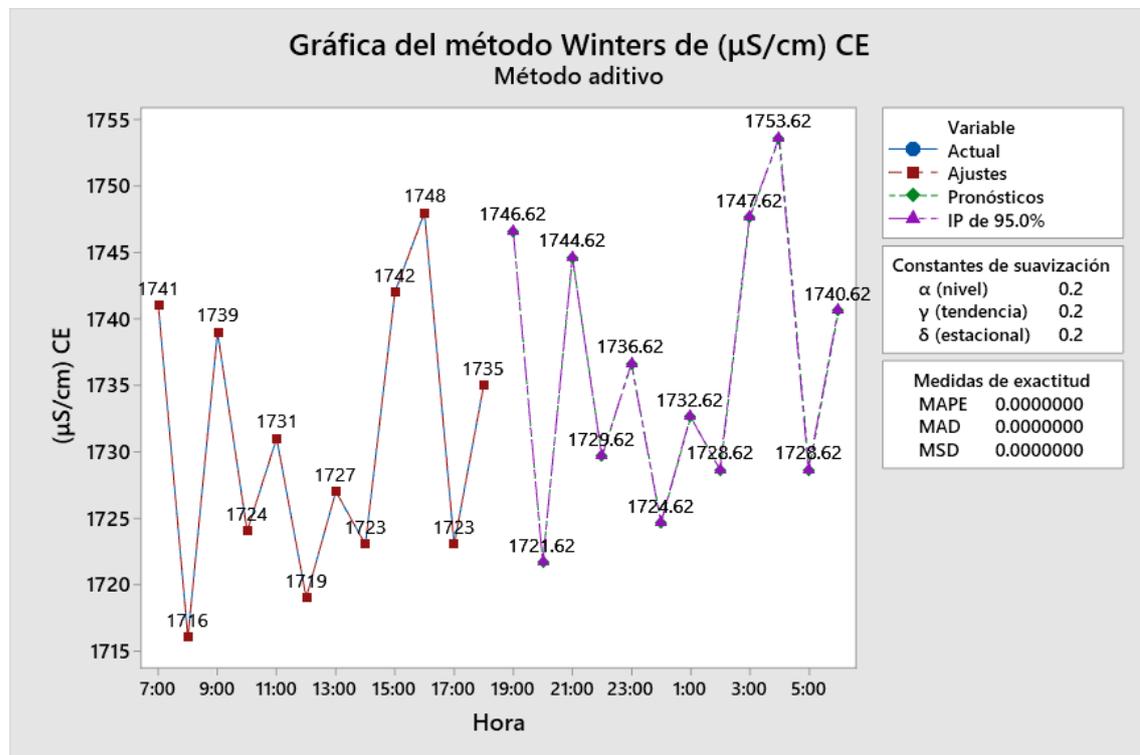


Figura 12. Predicciones y evaluación del agua en función a la conductividad

En la figura 12 se realizó las predicciones tomando un dato inicial a las 7:00 am de 1741 y en el transcurso del tiempo llegó a bajar a 1716 por lo que llegó hasta las 18:00 hrs con un valor de 1735, se sometió a realizar la predicción para las 12 horas siguientes donde indica que va aumentar en un 5% los valores para cada mes. Esto se debe a que los impactos se multiplican en todas las fases, perturbando el equilibrio del agua y aumentando la concentración de sales así mismo obtuvo valores similares los autores (Jiménez & Llanos, 2019).

En la figura 13 indica que inicialmente, el pH se registró un valor de 4,92, se continuo con registrando los datos ya para el segundo mes alcanzo con un 6,82 que fue la máxima, luego con el transcurso del tiempo, se observó una disminución continua en el pH, lo que indica una tendencia a la acidificación, así como obtuvo resultados los autores (Shim et al., 2015).

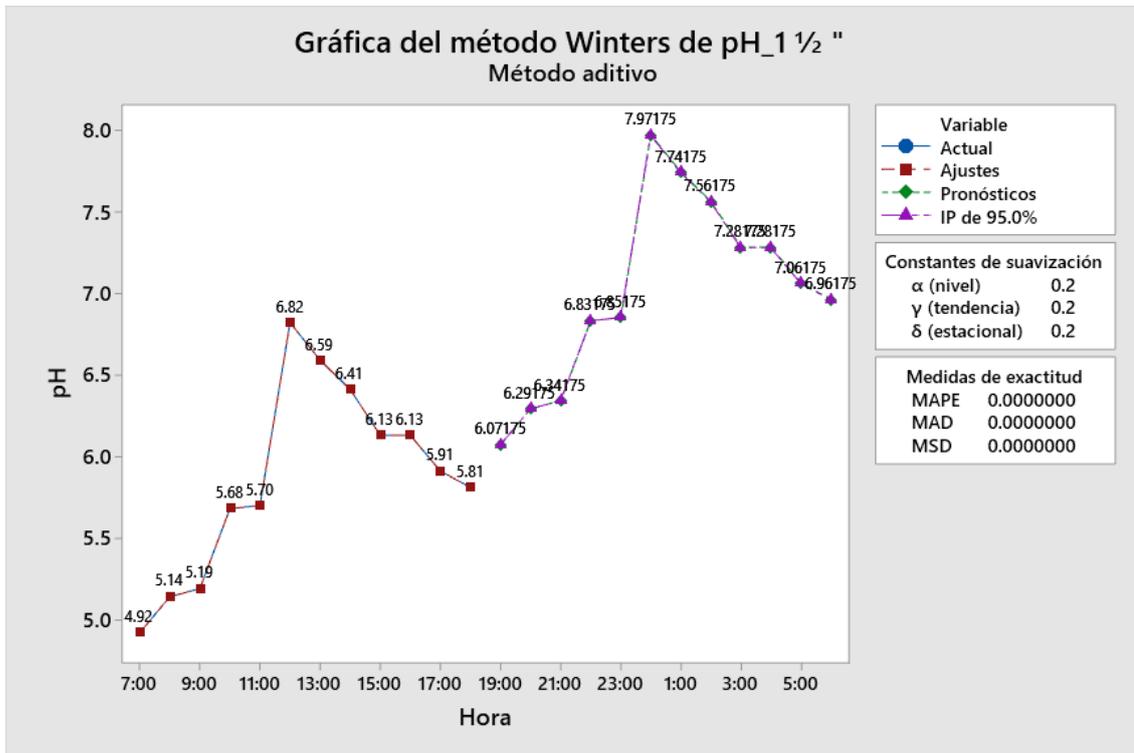


Figura 13. Pronósticos del contenido de pH en agua

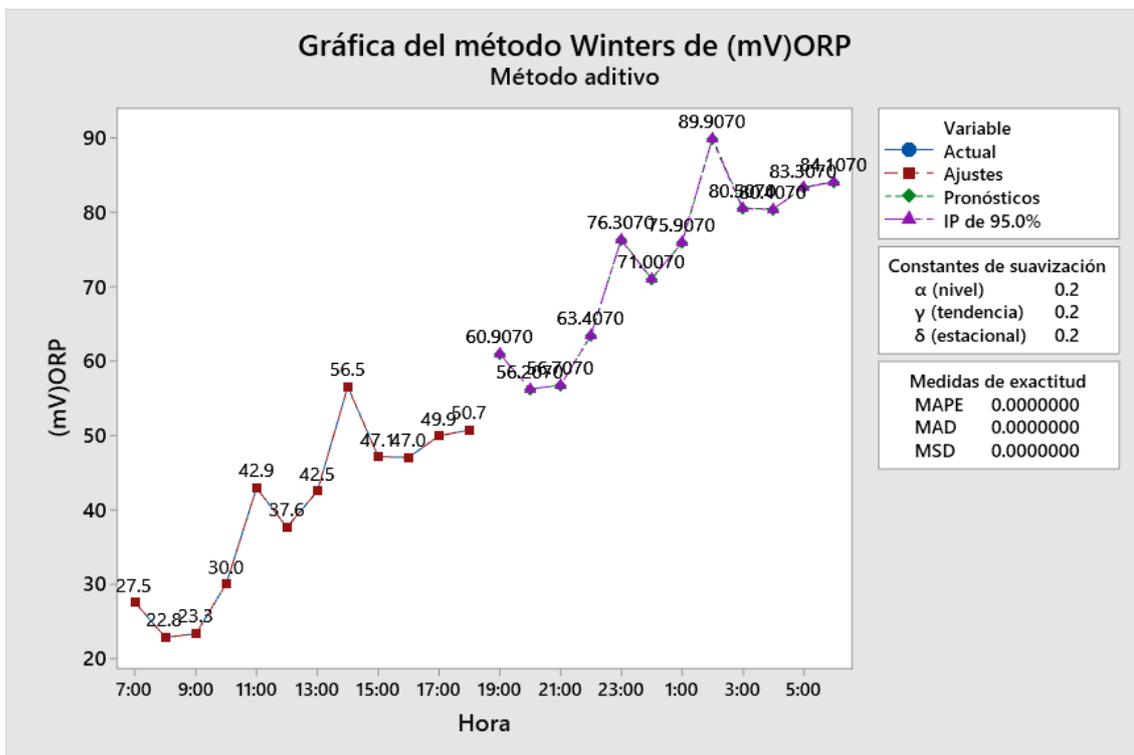


Figura 14. Pronóstico para potencial de oxidación y reducción (ORP)

Según la figura 14, el valor inicial de ORP fue de 42,9, sin embargo, se observó un aumento significativo en el ORP a medida que avanzaba el proceso en el dren anóxico calizo, alcanzando finalmente un valor máximo de 89,9 lo que nos indica que le sistema

está experimentando una mayor oxidación, ya que la oxidación ayuda a eliminar los contaminantes orgánicos y mejorar la calidad del agua como también obtuvieron (Dutta *et al.*, 2020).

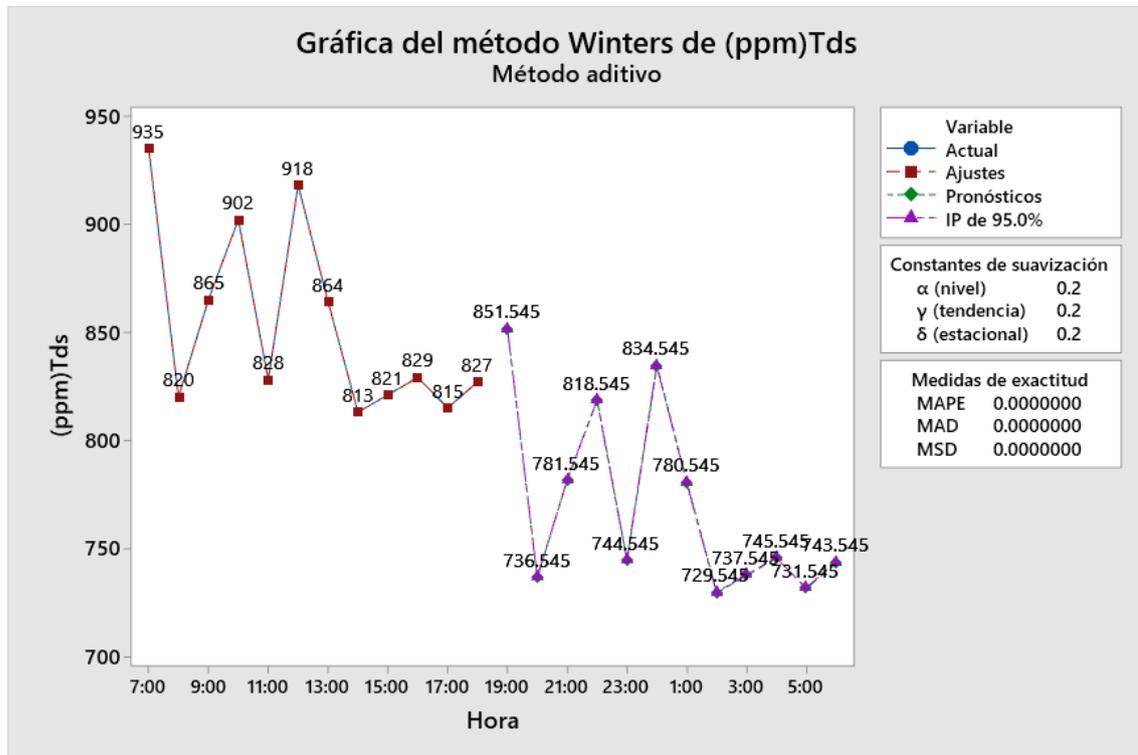


Figura 15. Sólidos totales disueltos

Los sólidos totales disueltos TDS consiste en sustancias, como sales minerales, minerales disueltos, nutrientes, compuestos orgánicos, metales y otros solutos que están presentes en el agua o en una solución líquida determinada así como nos indica (Hansson *et al.*, 2023) el figura 15 inicia con 935 ppm, mediante la predicción por método tukey indica una disminución que llegaría hasta 545 ppm así como (Chai *et al.*, 2020), obtuvo valores similares, en el diseño del dren anóxico calizo.

Es de mencionar que este parámetro físico químico es uno de los más relevantes, razón por la cual se considera importante.

2.3.2. Parámetros fisicoquímicos para granulometría de 1''

Tabla 10

Parámetros fisicoquímicos de agua acida para una granulometría de 1''

1'' de granulometría				
(ppm)OD	(μ S/cm) CE	pH	(mV)ORP	(ppm)Tds
1,90	1803	5,94	18,4	912
2,07	1786	6,01	19,9	901
2,02	1912	6,18	21,6	876
2,09	1842	6,19	19,8	845
2,29	1812	6,28	38,2	906
2,22	1829	7,02	37,7	914
2,19	1763	6,42	39,7	882
2,09	1582	6,48	56,5	791
2,09	1670	6,78	55,5	835
2,10	1718	6,78	44,1	859
2,06	1664	6,52	44,9	832
2,09	1683	6,52	45,2	841

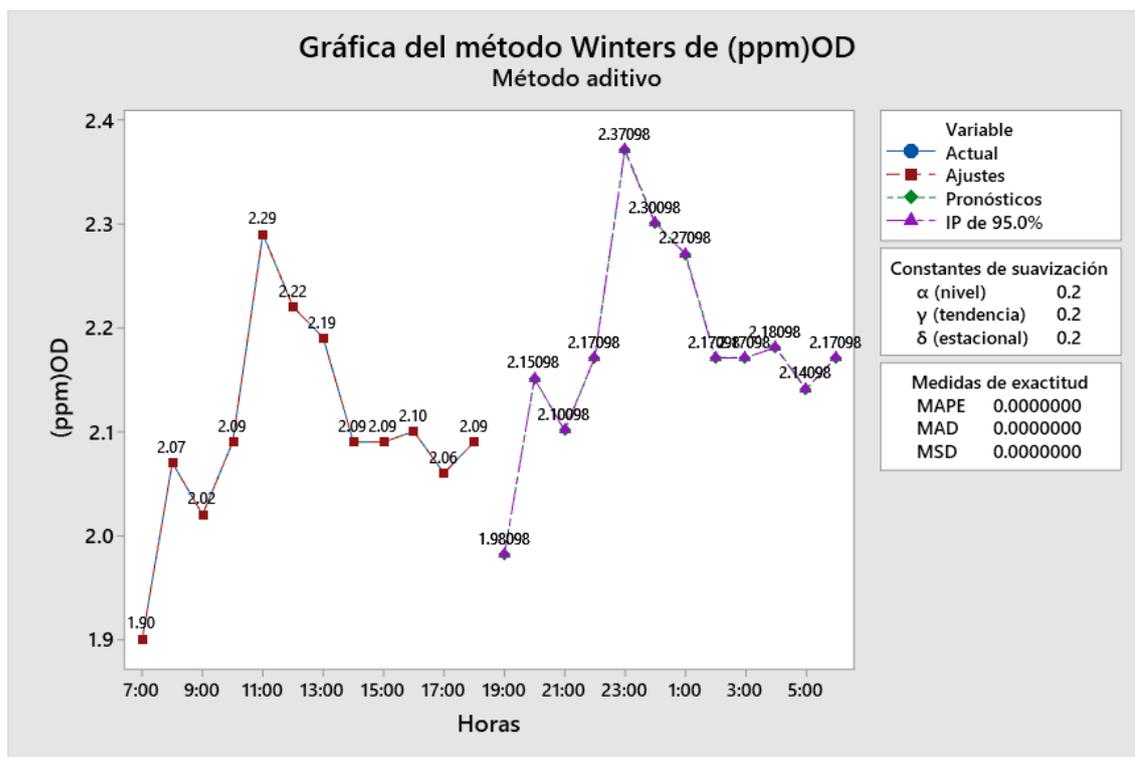


Figura 16. Pronóstico según el oxígeno disuelto en agua

Las concentraciones de oxígeno disuelto aumento de 1,90 a 2,29 ppm y se predice llegar en el tiempo a 22,17 así como indica los investigadores (Chen *et al.*, 2020) estando dentro de los valores permitidos, con una medida de exactitud de 0,000 lo cual son confiables los datos obtenidos con el software así como los investigadores (Kleiv & Thornhill, 2008).

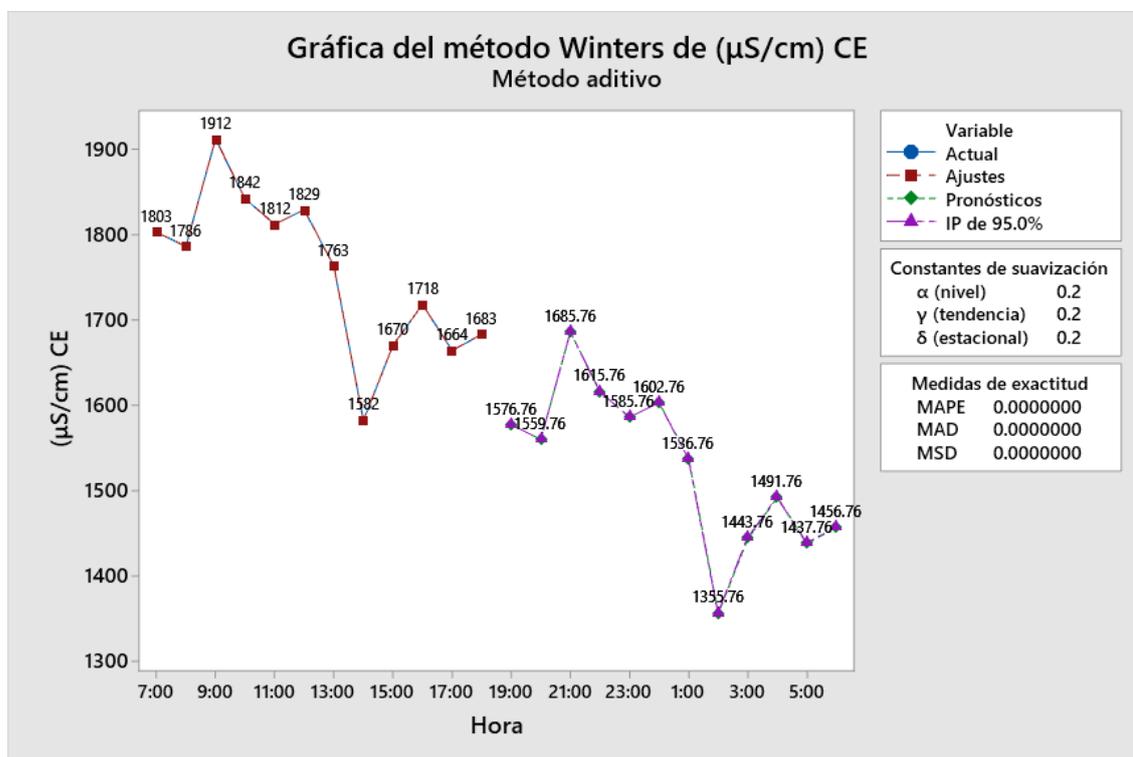


Figura 17. Predicciones del agua en función de la conductividad

En la figura 17, la conductividad radica en su capacidad para proporcionar información valiosa en una variedad de aplicaciones, desde la evaluación de la calidad del agua hasta el control de procesos industriales y la investigación científica, así como mencionan los investigadores (Kleiv & Thornhill, 2008). La conductividad inicia de 1803 a 1683 uS/cm. CE a medida que pasa el tiempo se predice que la conductividad disminuye a 1456,76 uS/cm CE siendo valores óptimos para la calidad de suelo.

En la figura 18, en esta granulometría se ha realizado las mediciones en el primer mes de exposición de caliza en el agua acida donde inicia con 5,94 pH a media que pasa el tiempo reacciona la caliza aumentando el pH hasta 7,02 mientras más tiempo permanece la caliza en los reactores el pH vuelve a disminuir así como indica (Miller et al., 2013) que obtuvo valores similares en su investigación

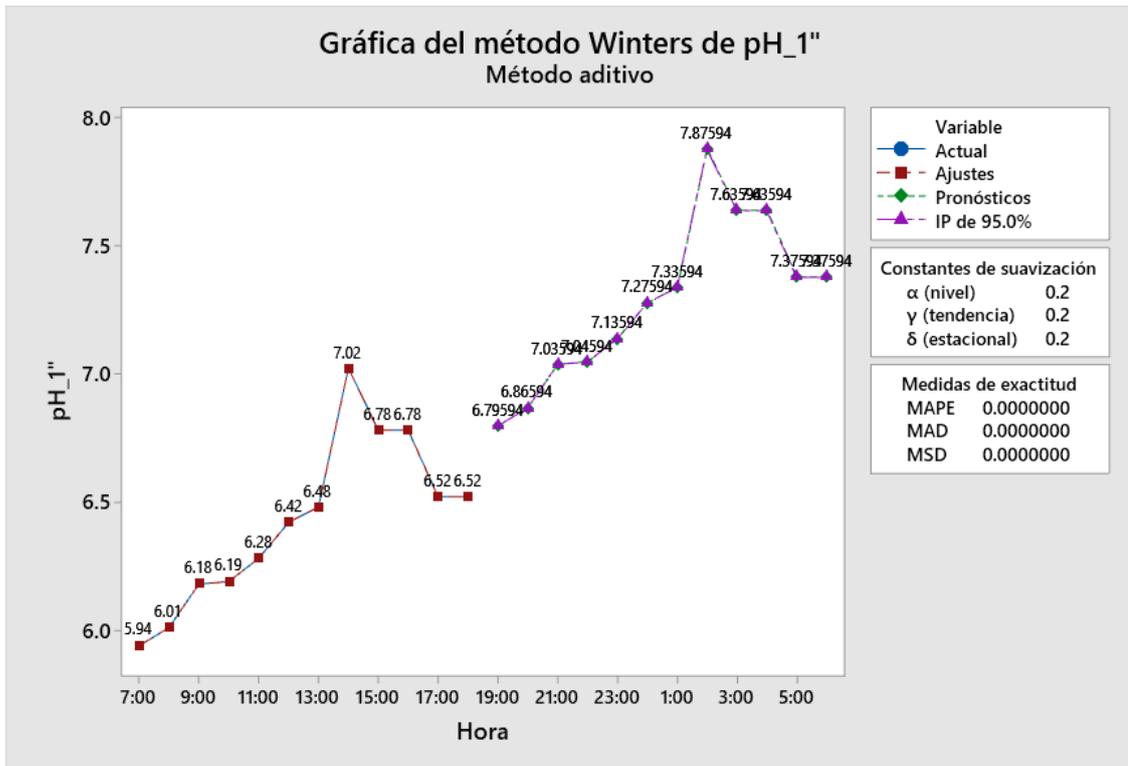


Figura 18. Predicciones del agua en función al pH

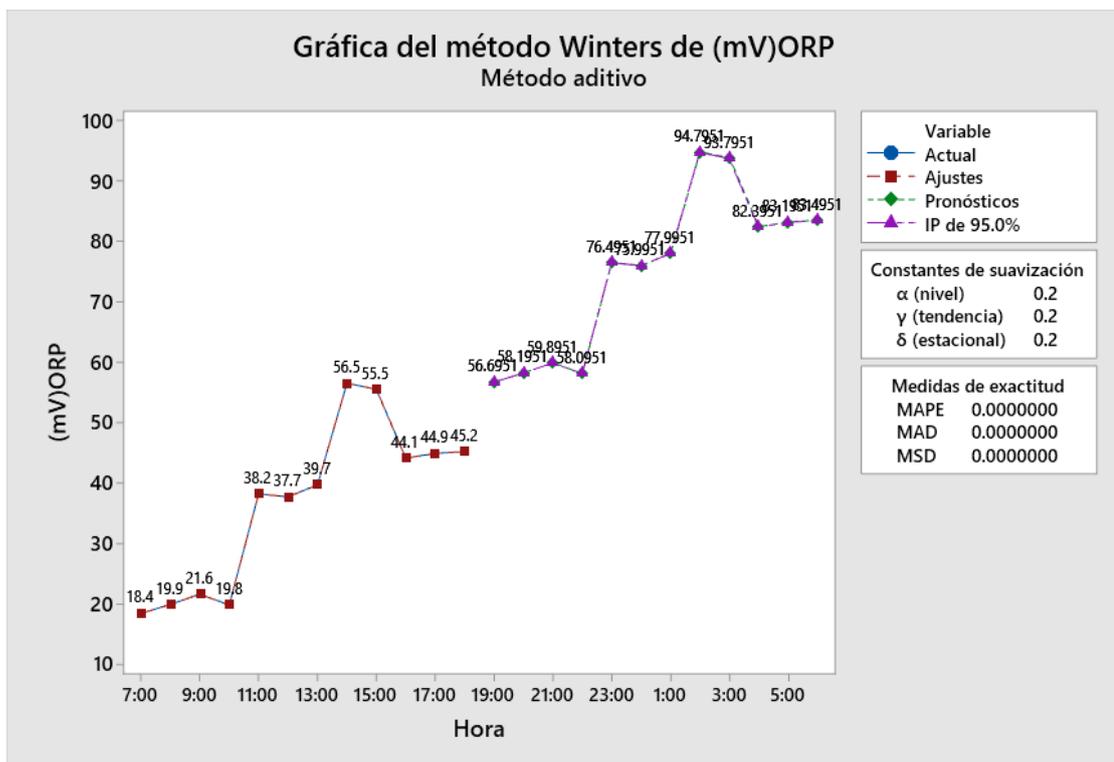


Figura 19. Potencial redox para una granulometría de 1"

En cuanto al potencial redox (ORP) para una granulometría de 1" de diámetro de la caliza inicia con 18,4 incrementándose a 56.5 mV, se predice que aumenta a partir las

14:00 hrs, siendo valores óptimos para la calidad del suelo así como obtuvieron resultados los investigadores (Rambabu *et al.*, 2020)

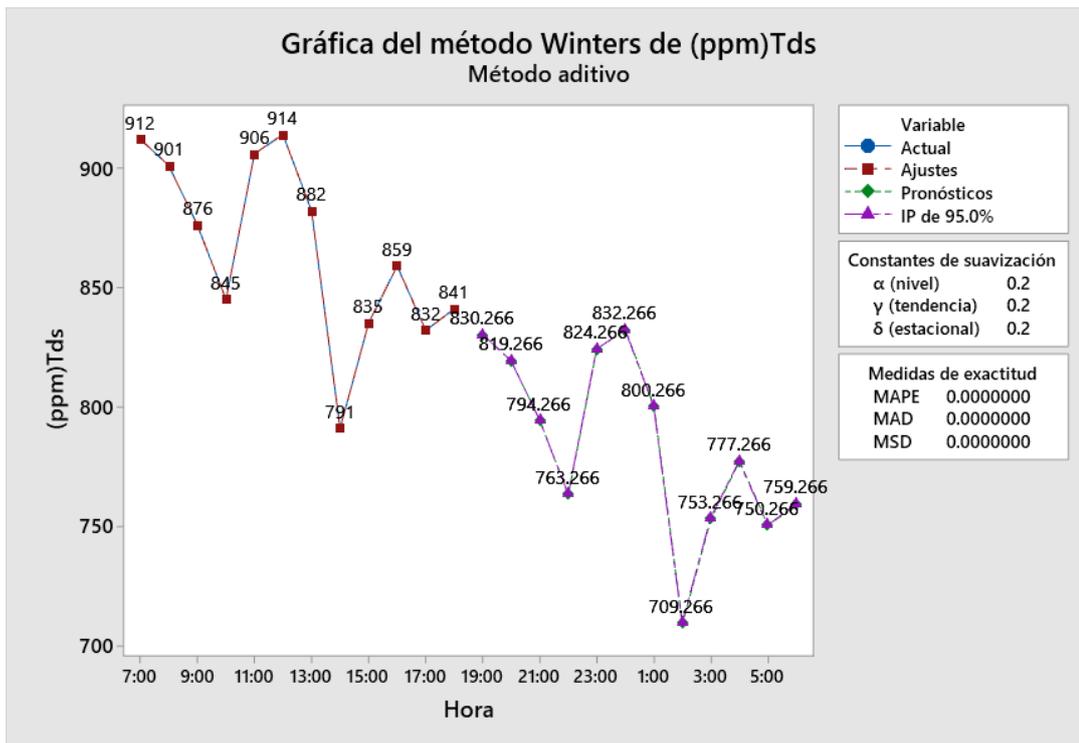


Figura 20. Sólidos totales disueltos para 1" de diámetro de calizas

Los STD sólidos totales disueltos nos indican la concentración de diversos componentes disueltos en el agua, como sales minerales, nutrientes, metales pesados y contaminantes orgánicos en la figura 20 indica que inicia con 912 ppm y se predice que después de las 12 hrs comienza a disminuir los STD así como (Robbins *et al.*, 1999) quienes obtuvieron valores similares ala de su investigación.

2.3.3. Parámetros fisicoquímicos para granulometría de 3/4"

En la figura 21, el OD inicia con 1,99 ppm en la primera hora luego a las 12:00 hrs aumentó hasta 2,30 ppm a las 18:00 hrs empezó a bajar hasta 2,04 ppm. Lo que nos indica la tendencia a llegar a los estándares de calidad ambiental de aguas. Este parámetro importante en una posible predicción se mantiene igual, para lo cual es necesario ensayar a nivel piloto para complementar con otro tratamiento sea pasivo o activo para incrementar la concentración.

Tabla 11

Parámetros fisicoquímicos de agua acida para una granulometría de 3/4"

3/4 " de granulometría				
(ppm)OD	($\mu\text{S/cm}$) CE	pH	(mV)ORP	(ppm)Tds
1,99	1813	3,72	21,8	912
2,13	1823	4,47	20,6	920
2,05	1810	5,82	22,5	853
2,12	1824	6,01	26,0	846
2,30	1766	6,05	35,8	883
2,21	1880	6,09	39,2	940
2,20	1805	6,87	39,2	902
2,10	1575	6,80	76,0	788
2,07	1722	6,53	47,4	861
2,11	1736	6,50	46,0	868
2,06	1638	6,50	47,9	819
2,04	1658	6,45	44,4	829

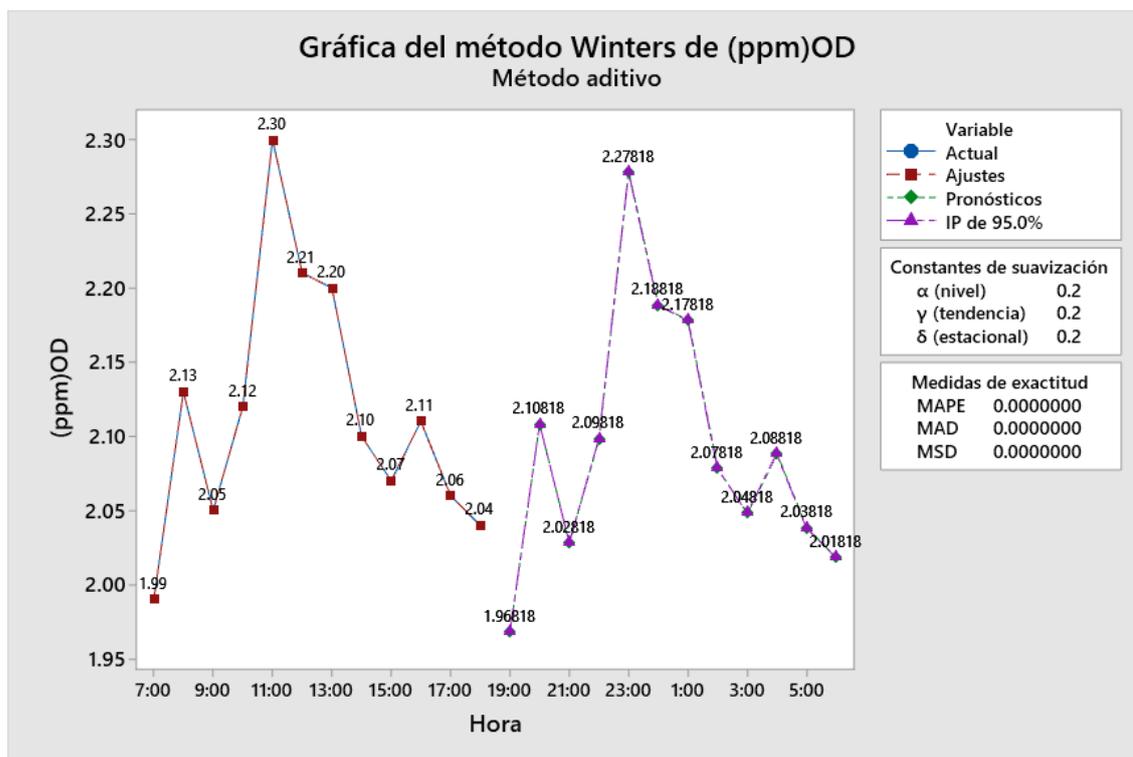


Figura 21. Pronóstico para el oxígeno disuelto

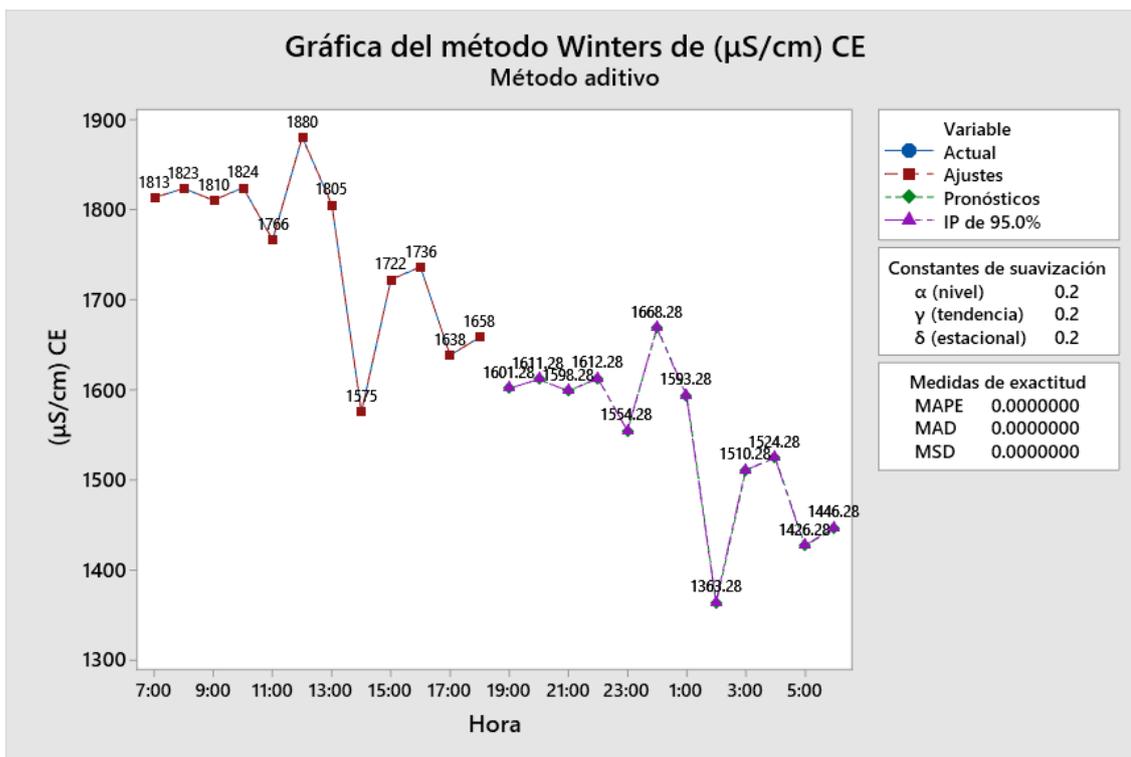


Figura 22. Conductividad eléctrica

La conductividad radica en su capacidad para proporcionar información valiosa en una variedad de aplicaciones, desde la evaluación de la calidad del agua hasta el control de procesos industriales y la investigación científica. así como (Fikadu, 2022). La conductividad inicia con 1813 us/cm CE a medida que pasa el tiempo se predice que la conductividad disminuye a 1456,76 us/cm CE siendo valores óptimos para la calidad de suelo (Kleiv & Thornhill, 2008).

En la figura 23, en la primera hora inicia con 3,72 luego para las dos siguientes hrs alcanzó un pH de 6,87 durante las siguientes hrs se observó la decendencia de los valores hasta un 6,45 de pH pasada las 12 hrs, a partir de ahí mediante la aplicación de la prueba de tukey se observa que a medida que va pasar el tiempo de exposición de la caliza con el agua acidad de mina va decrecer hasta valores de 5,50 del pH a hrs 1:00 am por lo que comparando con los demás resultados de las diferentes granulometrías no existe mucha varianza en la granulometría $\frac{3}{4}$ ” así mismo obtuvieron en su trabajo de investigación (Santomartino & Webb, 2007).

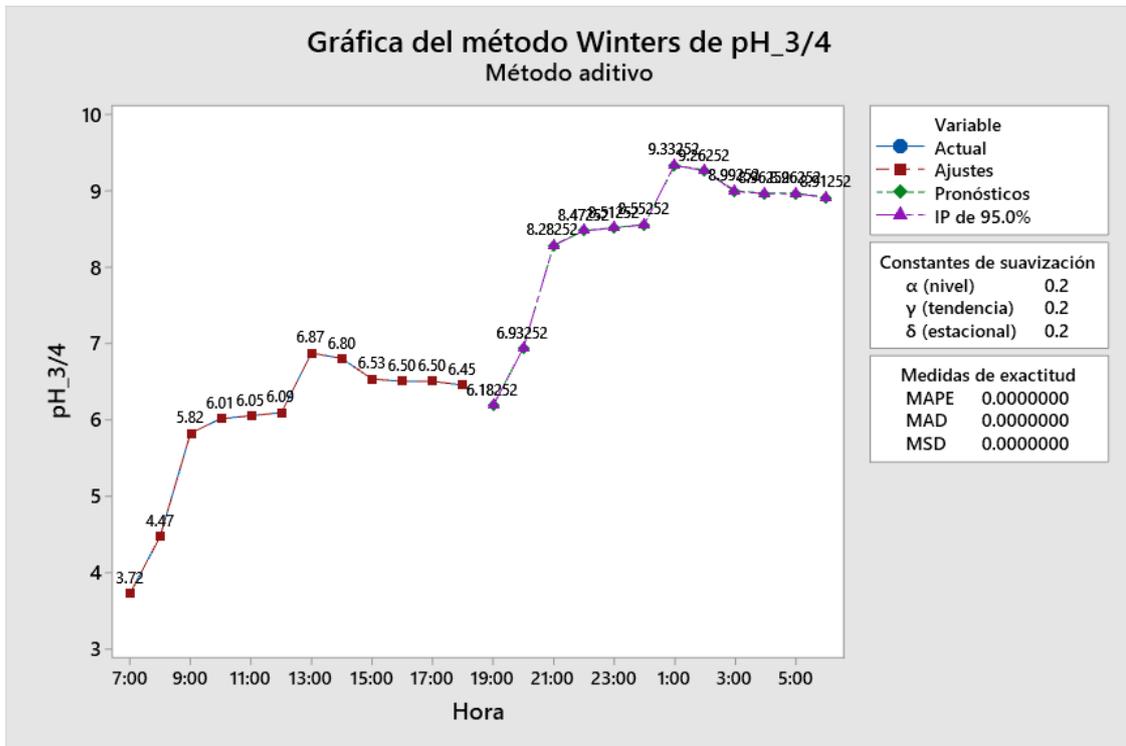


Figura 23. Potencial de hidrógeno (pH)

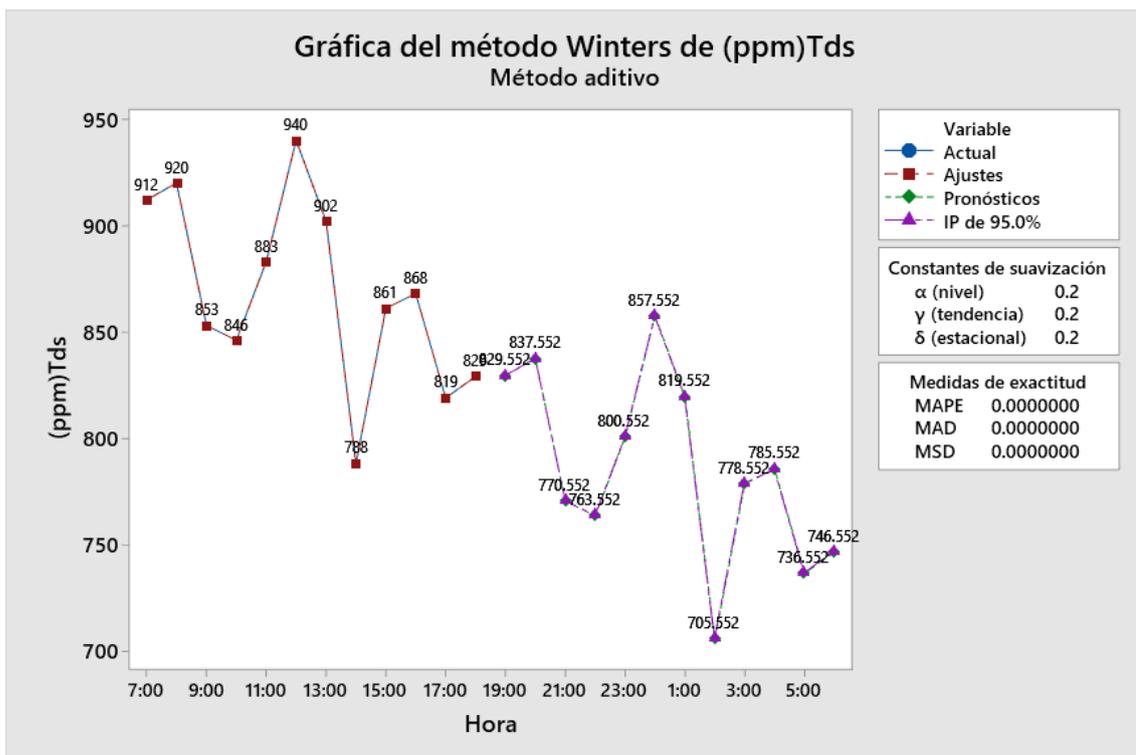


Figura 24. Sólidos totales disueltos

En la figura 24, los sólidos totales disueltos STD sustancias, como sales minerales, minerales disueltos, nutrientes, compuestos orgánicos, metales y otros solutos que están presentes en el agua o en una solución líquida determinada así como nos indica (Iakovleva *et al.*, 2015) el figura 24 inicia con 912 ppm y con trascurso del tiempo disminuye a 788 ppm así como (Liu *et al.*, 2017) obtuvo valores similares.

2.3.4. Nivel de acumulación de metales pesados de 1 ½ pulgadas.

Tabla 12

Concentración de metales pesados en agua para un diámetro de 1 ½ "

N°	1 ½ "				
	Zinc (Zn)	Cobre (Cu)	Arsénico (As)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)
1	2,41	18,42	0,012	23,22	0,13
2	2,61	12,66	0,013	41,07	0,13
3	2,26	19,29	0,016	13,84	0,14
4	2,34	16,36	0,042	10,67	0,15
5	3,84	16,89	0,026	24,99	0,09
6	3,01	18,42	0,036	50,57	0,12
7	4,21	20,79	0,034	52,63	0,09
8	4,03	21,03	0,025	51,26	0,23

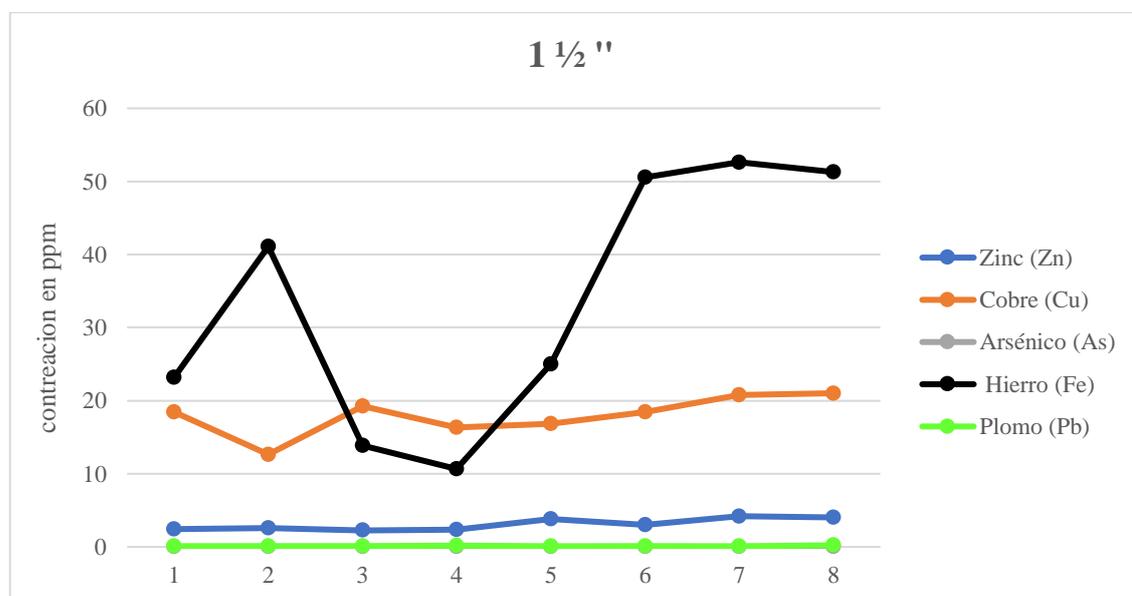


Figura 25. Concentración de metales pesados y su distribución para 1 ½ "

Según los resultados que se presenta en la figura 25 se obtuvo ppm de concentración de hierro en el mes_01 y con el transcurso del tiempo el mes_04 se disminuyó a 10 ppm pero en los meses 07 y 08 llegó a una concentración de 50 ppm así como obtuvo (Jiménez & Llanos, 2019) lo que indica que no se encuentran dentro de los ECA, el metal cobre inicia con una concentración de 18,48 ppm después de una masa 12,66 ppm, mientras que el plomo no tiene mucha varianza al igual que el arsénico, teniendo los valores similares a los que determino (Kleiv & Thornhill, 2008).

Tabla 13

Concentración de metales pesados en agua para un diámetro de 3/4 "

N°	3/4"				
	Zinc (Zn)	Cobre (Cu)	Arsénico (As)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)
1	3,23	17,36	0,015	29,77	0,15
2	3,45	18,36	0,011	26,69	0,26
3	3,26	18,23	0,016	28,13	0,36
4	3,86	18,36	0,015	20,67	0,26
5	3,65	18,56	0,019	26,16	0,39
6	3,45	19,23	0,021	29,45	0,45
7	3,56	18,23	0,022	26,12	0,21
8	3,56	18,45	0,023	23,15	0,52

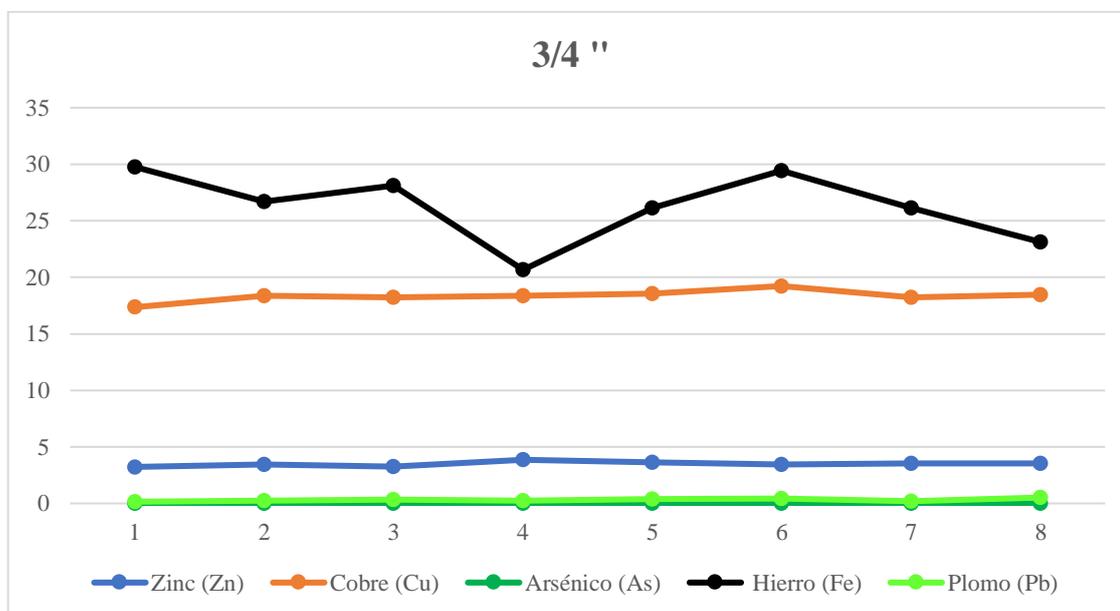


Figura 26. Concentración de metales y su distribución para 3/4 "

Según los resultados que se presenta en la figura 27 el hierro lo máximo que disminuyo fue una concentración 20,67 ppm este valor está por encima de los ECA, el cobre no presentó ninguna variancia en la concentración así como obtuvo (Labastida *et al.*, 2019) 22,43 ppm de concentración de cobre, el arsénico de 0,015 ppm aumento hasta 0,023 ppm estos valor se encuentran dentro de los ECAS (MINAM, 2017), de la categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), el plomo de 0,15 ppm con el transcurso del tiempo aumento a 0,45 ppm siendo valores muy altos para la categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales) así como obtuvo (Masindi *et al.*, 2018) realizo la prueba en del dren anóxico calizo con conchas de mar obteniendo resultados similares.

Por las referencias bibliográficas se sabe el alto contenido de metales pesados en el suelo puede tener efectos adversos tanto en el medio ambiente como en la salud de los animales, lo que subraya la importancia de la gestión adecuada de estos contaminantes para proteger nuestros ecosistemas y la cadena alimentaria (Silva *et al.*, 2021). Los estándares de calidad ambiental Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales el hierro para riego de vegetales presenta 5 mg/L, plomo 0,05 mg/L, arsénico 0,1 mg/L, zinc 2 mg/L, cobre 0,2 mg/L (MINAM, 2017).

Tabla 14

Concentración de metales pesados en agua para un diámetro de 1 "

N°	1 "				
	Zinc (Zn)	Cobre (Cu)	Arsénico (As)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)
1	3,86	18,46	0,013	30,77	0,11
2	3,45	16,23	0,012	25,69	0,65
3	3,49	16,25	0,013	18,13	0,31
4	3,25	17,26	0,014	20,67	0,68
5	2,32	16,59	0,015	20,79	0,69
6	2,29	18,2	0,014	16,36	0,71
7	1,32	17,63	0,012	12,29	0,83
8	1,31	17,21	0,011	9,69	0,61

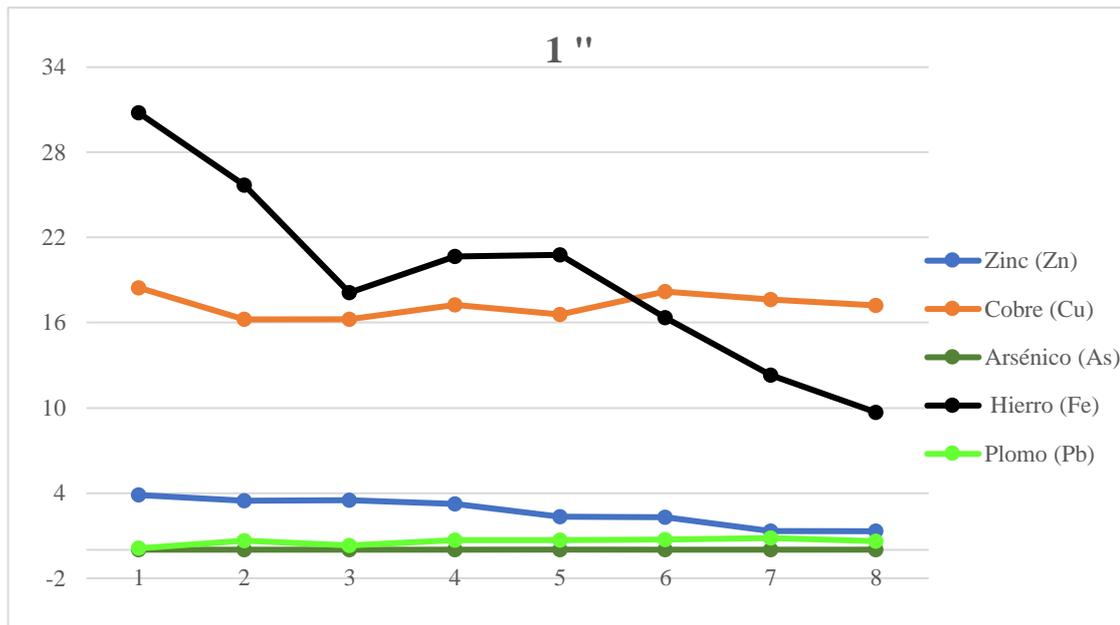


Figura 27. Concentración de metales y su distribución para 1"

Según los resultados que se presenta en la figura 27 el hierro de 30,77 ppm disminuye a 9,69 ppm ya que el hierro desempeña un papel vital en la nutrición de las plantas, la fijación de nitrógeno, la resistencia a enfermedades y el equilibrio del pH del suelo. Es esencial para el crecimiento saludable de las plantas y la productividad de los cultivos. así como obtuvo (Zhou *et al.*, 2017) valores similares. El cobre de 18,46 ppm disminuyo a 16, 25 ppm ya este metal puede ser perjudicial para las plantas y otros organismos del suelo, por lo que es importante mantener un equilibrio adecuado de este elemento en el entorno de cultivo, el arsénico de 0,013 ppm con el transcurso del tiempo bajo a 0,011 ppm estos valores se encuentra dentro de estándares de calidad ECA-2017 de la categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales) así como obtuvo (Falcón *et al.*, 2020) valores similares en el arsénico, el plomo llego a 0,11 ppm, la presencia de plomo en el suelo es un tema de gran importancia debido a sus efectos tóxicos en la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, es fundamental controlar y gestionar la presencia de plomo en el suelo para minimizar los riesgos y proteger la salud de las personas y la biodiversidad. Así como indica los investigadores (Iakovleva *et al.*, 2015).

Es importante tener en cuenta que la eficacia del drenaje anóxico calizo puede depender de factores como el diseño del sistema, la topografía del terreno y las características específicas del suelo y el clima de la región. Por lo tanto, los valores de 1" son mejores

en la concentración de los metales pesados así como realizaron los investigadores (Labastida *et al.*, 2019).

Tabla 15

Análisis de varianza para el hierro

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Diámetro	2	810,4	405,2	3,39	0,050
Error	21	2511,0	119,6		
Total	23	3321,4			

En la tabla 15 se determinó el valor de la probabilidad de 0,05 que se encuentra en la fuente, el grado de libertad, el método de cálculo que hizo es de suma de cuadrados y en base a eso se determina el valor F estadístico de Fisher (Patarachao *et al.*, 2021), se obtuvieron valores de 3,39 que vendría a ser rechazada la hipótesis nula.

Tabla 16

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
10,9349	24,40%	17,20%	1,26%

En la tabla 16 se obtiene el resumen del modelo S con un valor de 10,9349 el R cuadrado con valor 24,50 % y el R- Ajustado con valor de 17,20 % y el R-de predicción con un valor de 1,26 %, se concluye que el valor es alto y se ajusta al modelo planteado a los datos.

Tabla 17

Medidas de la desviación estándar agrupada

Diámetro	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
1 "	8	19,30	6,85	(11,26; 27,34)
1 1/2 "	8	33,53	17,39	(25,49; 41,57)
3/4"	8	26,27	3,10	(18,23; 34,31)

Desviación estándar agrupada = 10,9349

La tabla 17 representa la media, desviación estándar y los intervalos de confianza a un 95 %, con un tamaño de muestra $N = 8$, como se indicó en un estudio anterior (Santomartino & Webb, 2007). Para el caso de los diámetros de roca caliza de 1" la media es 19,30 una desviación estándar de 6,85 y un intervalo de confianza que varía entre 11,26 hasta 27,34. Para el diámetro de 1 1/2 " el valor $N=8$ su media es de 33,53 la desviación estándar tiene un valor de 17,39 y el intervalo de confianza oscila entre 25,49 hasta 41,57. Para un diámetro de 3/4" se tiene un valor N de 8 con una media de 26,27 con una desviación estándar de 3,10 con un intervalo de confianza que varía entre 18,23 hasta 34,31. Por lo tanto, se observan diferencias significativas en estos datos, como se señaló en un estudio posterior (Iakovleva *et al.*, 2015).

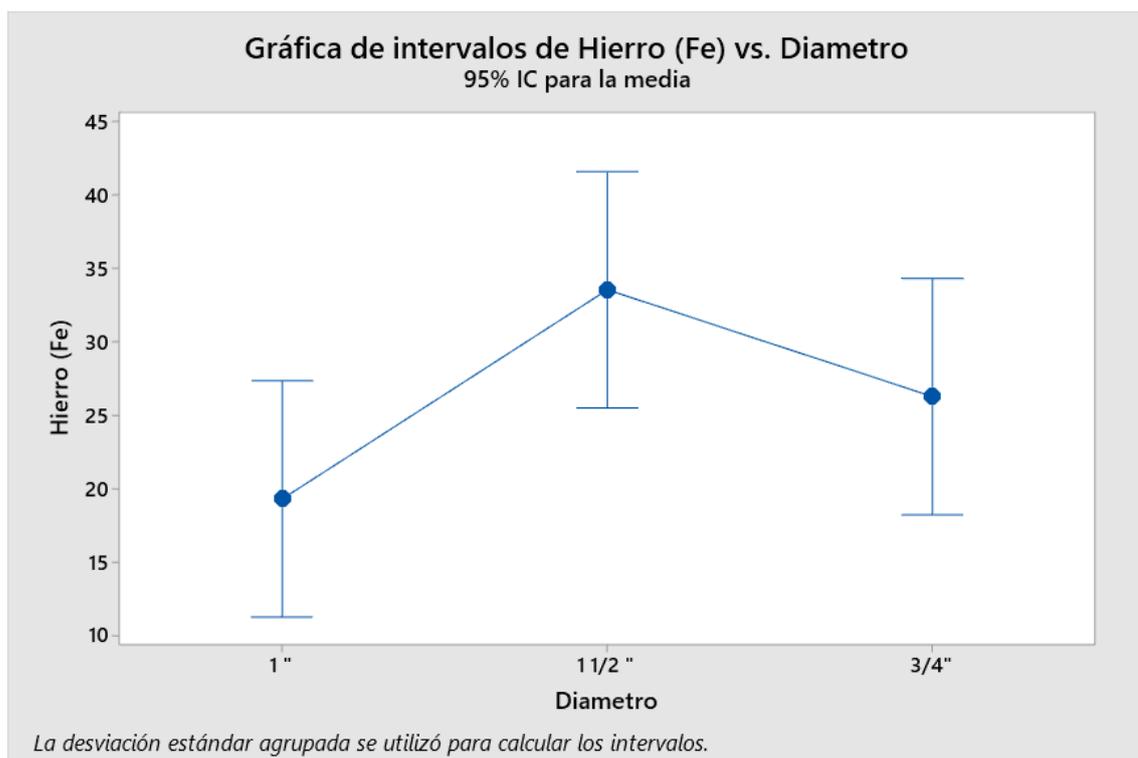


Figura 28. Grafica de los intervalos para la media al 95%

En la figura 28 se observa la representación de los datos mediante la gráfica de intervalos para el elemento Hierro vs el diámetro de los datos que tiene correlación con respecto al ajuste del modelo así mismo obtuvieron (Spadaro *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

- Se ha determinado la eficiencia del drenaje anóxico calizo para el tratamiento, mediante un diseño de rectores de $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$ de pulgada de granulometría de caliza, siendo la de 1" la que alcanzó incrementar el pH y la mejora de las concentraciones de parámetros físico químico de las aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria – Acumulación Los Rosales.
- Se determinó las características del dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante un diseño de reactores con una capacidad de volumen de 0,0867 cm³, un caudal de diseño de 0,50 L/min, un área de 0,17 m² y una altura de 17 cm para cada uno y se consideró granulometrías de roca caliza con 90.9 % de pureza de $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$ de pulgadas.
- Se determinó la eficiencia del dren anóxico calizo en el reactor de 1" obteniendo concentraciones de los parámetros fisicoquímicos como el incremento del potencial de hidrógeno (pH) de 2.97 hasta 6.52, oxígeno disuelto (OD) de 1.9 a 2,09 ppm, potencial de oxidación y reducción (ORP) de 18.4 hasta 45,2 mV, y la reducción de la conductividad eléctrica (CE) 1803 a 1683 μ S/cm y sólidos totales disueltos (TDS) de 912 a 841 ppm; también se reduce las concentraciones de metales pesados como hierro total (Fe) de 30,77 a 9,69 ppm, arsénico total (As) de 0,013 a 0,011 ppm, cobre total (Cu) de 18,46 a 17,21 ppm, zinc total (Zn) de 3,86 a 1,31 ppm y plomo total de 0,11 a 0,061 ppm, los resultados finales cumplen los estándares de calidad de agua superficial para riego de vegetales y bebida de animales y límites máximos permisibles a excepción del Fe y Cu.



RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de monitoreo continuo de parámetros físico-químico, concentración de metales y flujo de aguas ácidas de mina.
- Continuar con los ensayos a nivel piloto del sistema de drenaje anóxico calizo in-situ para validar y mejorar los resultados de laboratorio e interpolar a dimensión requerida para el tratamiento de las aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria.
- Buscar innovaciones en tecnologías de tratamiento de aguas ácidas de mina para mejoras en la eficiencia de algunos metales en alta concentración y la rentabilidad del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Acharya, B. S., & Kharel, G. (2020). Acid mine drainage from coal mining in the United States – An overview. *Journal of Hydrology*, 588(April), 125061. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125061>
- Alvarez, R. J. (2018). *Evaluación de metales pesados en agua del río Ramis sector Crucero - San Antón y su interpretación en software* [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8864?show=full>
- Amaro, H. M., Salgado, E. M., Nunes, O. C., Pires, J. C. M., & Esteves, A. F. (2023). Microalgae systems - environmental agents for wastewater treatment and further potential biomass valorisation. *Journal of Environmental Management*, 337(March). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117678>
- Astonitas, L. J., Pariente, E., & Milla Pino, M. E. (2021). Metodología de muestreo de suelos con fines de análisis químico para la detección de metales pesados. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(2), 77. <https://doi.org/10.25127/aps.20212.772>
- Azzam, M. A., Rizwan Khan, M., & Moustafa Youssef, H. (2023). Drinking water as a substantial source of toxic alkali, alkaline and heavy metals: Toxicity and their implications on human health. *Journal of King Saud University - Science*, 35(6), 102761. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102761>
- Brousett, M. A., Rondan-Sanabria, G. G., Chirinos-Marroquín, M., & Biamont-Rojas, I. (2021). Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno - Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 21(21), 187–208. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2021000100011&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v21n21/v21n21_a11.pdf
- Cares, R. A., Franco, A. M. A., & Bond, A. (2023). Investigating the implementation of the mitigation hierarchy approach in environmental impact assessment in relation to biodiversity impacts. *Environmental Impact Assessment Review*, 102(May), 107214. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107214>

- Chai, Y., Qin, P., Zhang, J., Wu, Z., Li, T., Xu, W., & Sun, H. (2020). Experimental study and application of dolomite aeration oxidation filter bed for the treatment of acid mine drainage. *Minerals Engineering*, 157(January), 106560. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106560>
- Chamizo, J. A. (2018). *Química General* (F. de Química (ed.); Primera ed). http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/quimica/libros/002_Quimica_general.pdf
- Chen, H., Xiao, T., Ning, Z., Li, Q., Xiao, E., Liu, Y., Xiao, Q., Lan, X., Ma, L., & Lu, F. (2020). In-situ remediation of acid mine drainage from abandoned coal mine by filed pilot-scale passive treatment system: Performance and response of microbial communities to low pH and elevated Fe. *Bioresource Technology*, 317(August), 123985. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123985>
- Clyde, E. J., Champagne, P., Jamieson, H. E., Gorman, C., & Sourial, J. (2016). The use of a passive treatment system for the mitigation of acid mine drainage at the Williams Brothers Mine (California): Pilot-scale study. *Journal of Cleaner Production*, 130, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.145>
- Dutta, M., Islam, N., Rabha, S., Narzary, B., Bordoloi, M., Saikia, D., Silva, L. F. O., & Saikia, B. K. (2020). Acid mine drainage in an Indian high-sulfur coal mining area: Cytotoxicity assay and remediation study. *Journal of Hazardous Materials*, 389(September 2019), 121851. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121851>
- Falcón, P., Castro, R., Alejandro, A., Rojas, A., Sixto Julián Pérez Falcón, V., Alejandro Ruiz Castro, A., & Sixto Aramburú Rojas, V. (2020). Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentradora de Jangas, Perú. *Periodicidad: Trimestral*, 22(2), 2020.
- Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigacion* (s. a. de c. . McGraw-hill / interamericana editores (ed.); Sexta). <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Fernandez, H. B., Mullisaca, E., & Huanchi, L. E. (2022). *Level of soil contamination with arsenic and heavy metals in Tiquillaca (Peru) Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share-Adapt*. 24(2), 131–138. <https://doi.org/https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>

- Fierro, B. A. (2017). *Evaluación de los niveles de mercurio en agua, sedimento y peces del Lago Xolotlán: fuentes naturales y antropogénicas*. [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua].
<https://repositorio.unan.edu.ni/11012/1/1103.pdf>
- Fikadu, G. (2022). Determination of Selected physicochemical water quality parameters of the upper stream of Amerti watershed of Western Ethiopia. *Environmental Challenges*, 8(May), 100558. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100558>
- Hammarstrom, J. M., Sibrell, P. L., & Belkin, H. E. (2003). Characterization of limestone reacted with acid-mine drainage in a pulsed limestone bed treatment system at the Friendship Hill National Historical Site, Pennsylvania, USA. *Applied Geochemistry*, 18(11), 1705–1721. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(03\)00105-7](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(03)00105-7)
- Hansson, N. L., Saleh, M., Tam, P. L., Holgersson, S., Spahiu, K., & Ekberg, C. (2023). Influence of groundwater composition on the reductive precipitation of U(VI) on corroding iron foil surfaces. *Journal of Nuclear Materials*, 577. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2023.154324>
- Iakovleva, E., Mäkilä, E., Salonen, J., Sitarz, M., Wang, S., & Sillanpää, M. (2015). Acid mine drainage (AMD) treatment: Neutralization and toxic elements removal with unmodified and modified limestone. *Ecological Engineering*, 81, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.046>
- Jiménez, P. J., & Llanos, J. F. (2019). Evaluación del drenaje anóxico calizo, como técnica complementaria al cierre de la bocamina BQH5 de Colquirrumi en Cajamarca, Perú [Universidad Privada del Norte]. In *Ucv*. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32303><http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32303>
- Kleiv, R. A., & Thornhill, M. (2008). Predicting the neutralisation of acid mine drainage in anoxic olivine drains. *Minerals Engineering*, 21(4), 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.10.005>
- Labastida, I., Armienta, M. A., Lara, R. H., Briones, R., González, I., & Romero, F. (2019). Kinetic approach for the appropriate selection of indigenous limestones for acid mine drainage treatment with passive systems. *Science of the Total*

- Environment*, 677, 404–417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.373>
- León, L. (2018). *Aplicación del método de tratamiento pasivo Dispersed Alkaline Substrate (DAS), para la remoción de metales, contenidos en el drenaje ácido de mina Julcani, Perú.* (Vol. 0) [Universitat de Barcelona]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1312063>
- Liu, J., Zhou, L., Dong, F., & Hudson-Edwards, K. A. (2017). Enhancing As(V) adsorption and passivation using biologically formed nano-sized FeS coatings on limestone: Implications for acid mine drainage treatment and neutralization. *Chemosphere*, 168, 529–538. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.037>
- Mahajan, P., & Kaushal, J. (2018). Role of Phytoremediation in Reducing Cadmium Toxicity in Soil and Water. *Journal of Toxicology*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4864365>
- Mahmoud, M. G., El-Sayed, A. A. M., Moawad, M. N., Sallam, E. R., Mohamed, L. A., & Tadros, H. R. Z. (2023). Water quality index and physicochemical parameters effect on the corrosion rate of steel along the Egyptian Mediterranean Sea. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2023.05.002>
- Masindi, V., Chatzisyneon, E., Kortidis, I., & Foteinis, S. (2018). Assessing the sustainability of acid mine drainage (AMD) treatment in South Africa. *Science of the Total Environment*, 635, 793–802. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.108>
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para muestreo de suelos. In *Universidad Nacional Agraria* (Primera ed). Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS). <https://repositorio.una.edu.pe/3613/1/P33M539.pdf>
- Mensah, A. K., Marschner, B., Shaheen, S. M., & Rinklebe, J. (2022). Biochar, compost, iron oxide, manure, and inorganic fertilizer affect bioavailability of arsenic and improve soil quality of an abandoned arsenic-contaminated gold mine spoil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234(July 2021), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113358>
- Merchichi, A., Hamou, M. O., Edahbi, M., Bobocioiu, E., Neculita, C. M., & Benzaazoua, M. (2022). Passive treatment of acid mine drainage from the Sidi-Kamber mine

- wastes (Mediterranean coastline, Algeria) using neighbouring phosphate material from the Djebel Onk mine. *Science of the Total Environment*, 807, 151002. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151002>
- Miller, A., Wildeman, T., & Figueroa, L. (2013). Zinc and nickel removal in limestone based treatment of acid mine drainage: The relative role of adsorption and co-precipitation. *Applied Geochemistry*, 37, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.07.001>
- MINAM. (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. *Dirección General de Calidad Ambiental*, 1, 4–117. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-riesgos-ambientales>
- MINAM, 2014. (2014). Guía para muestreo de suelos. In *Ministerio del Ambiente*. Dirección General de Calidad Ambiental. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
- MINAM, 2017. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. In *El Peruano* (pp. 6–9). El Peruano. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Moodley, I., Sheridan, C. M., Kappelmeyer, U., & Akcil, A. (2018). Environmentally sustainable acid mine drainage remediation: Research developments with a focus on waste/by-products. *Minerals Engineering*, 126(November 2016), 207–220. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.08.008>
- Ñaupas, H., Mejia, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la Investigación* (A. G. M (ed.); 4ta. Edici). Ediciones de la U. <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0028.pdf>
- Nguyen, P. M., & Mulligan, C. N. (2023). Study on the influence of water composition on iron nail corrosion and arsenic removal performance of the Kanchan arsenic filter (KAF). *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10(December 2022), 100285. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100285>
- Niskanen, J., Lahtinen, M., & Perämäki, S. (2022). Acetic acid leaching of neodymium magnets and iron separation by simple oxidative precipitation. *Cleaner Engineering*

- and Technology*, 10(March). <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100544>
- OEFA, 2013. (2013). *Directiva para la Identificación de Pasivos Ambientales en el Subsector Hidrocarburos a Cargo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2013/05/Directiva1.pdf>
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Paranhos, R. S., Santos, E. G. Dos, Veras, M. M., Guadagnin, F., & Pasetto, G. A. (2020). Performance analysis of optical and X-Ray transmitter sensors for limestone classification in the South of Brazil. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 1305–1313. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.057>
- Patarachao, B., Tyo, D. D., Chen, D., & Mercier, P. H. J. (2021). Methodology development and optimization for direct quantification of total selenium concentration in mine water by total-reflection X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 177(December 2020), 106053. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.106053>
- Raj, K., & Das, A. P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5(February), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.02.001>
- Rambabu, K., Banat, F., Pham, Q. M., Ho, S. H., Ren, N. Q., & Show, P. L. (2020). Biological remediation of acid mine drainage: Review of past trends and current outlook. *Environmental Science and Ecotechnology*, 2, 100024. <https://doi.org/10.1016/j.eset.2020.100024>
- Rezaie, B., & Anderson, A. (2020). Sustainable resolutions for environmental threat of the acid mine drainage. *Science of the Total Environment*, 717, 137211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137211>
- Robbins, E. I., Cravotta, C. A., Savelle, C. E., & Nord, G. L. (1999). Hydrobiogeochemical

- interactions in “anoxic” limestone drains for neutralization of acidic mine drainage. *Fuel*, 78(2), 259–270. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(98\)00147-1](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(98)00147-1)
- Romero, H. Í., & Dávila, K. E. (2015). *Principios Básicos de Química Analítica Cualitativa para Estudiantes de Ingeniería Química* (utmach (ed.); Primera ed). Universidad Técnica de Machala.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6643>
- Saatloo, N. V., Ebrahiminejad, B., Sadighara, P., Manafi, L., Yazdanfar, N., & Fallahizadeh, S. (2023). Quantification and human health risk assessment of cadmium and lead in wheat flour on the Iranian market by atomic absorption spectrometry. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8(June), 100438. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100438>
- Santomartino, S., & Webb, J. A. (2007). Estimating the longevity of limestone drains in treating acid mine drainage containing high concentrations of iron. *Applied Geochemistry*, 22(11), 2344–2361.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.04.020>
- SENAMHI. (2022). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*. 2022a.
<https://www.gob.pe/senamhi>
- Shim, M. J., Choi, B. Y., Lee, G., Hwang, Y. H., Yang, J. S., O’Loughlin, E. J., & Kwon, M. J. (2015). Water quality changes in acid mine drainage streams in Gangneung, Korea, 10years after treatment with limestone. *Journal of Geochemical Exploration*, 159, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.09.015>
- Sierra, C. (2019). *Calidad del Agua* (L. D. L. Escobar (ed.); 1Primera e). Medellín, Colombia.
https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluación_y_diagnóstico
- Silva, D., Weber, C., & Oliveira, C. (2021). Neutralization and uptake of pollutant cations from acid mine drainage (amd) using limestones and zeolites in a pilot-scale passive treatment system. *Minerals Engineering*, 170(April), 107000.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107000>
- Skousen, J. G., Ziemkiewicz, P. F., & McDonald, L. M. (2019). Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies. *Extractive Industries*

- and Society*, 6(1), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.09.008>
- Spadaro, D. A., King, J., Angel, B., McKnight, K. S., Adams, M. S., Binet, M. T., Gadd, J. B., Hickey, C. W., & Stauber, J. L. (2022). Probabilistic risk assessment of mine-derived copper in the Ok Tedi/Fly River, Papua New Guinea. *Science of the Total Environment*, 810, 151219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151219>
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. G. (2016). *Métodos de Recolección de datos para una Investigación*. Indian Journal of Dental Research. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.186230>
- Vigil, M. Á. (2017). *Sistema de ayuda a la decisión para el diseño de proyectos de fitorremediación de suelos industriales* [Universidad de Oviedo]. http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/43858/6/TD_MiguelAngelVigilBerrrocal-1.pdf
- Walls, D. B., Boyce, A. J., Banks, D., & Burnside, N. M. (2023). The occurrence of elevated $\delta^{34}\text{S}$ in dissolved sulfate in a multi-level coal mine water system, Glasgow, UK. *International Journal of Coal Geology*, 272(April), 104248. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104248>
- Zamora, G., Mamani, M., & Trujillo, E. (2018). Propuesta Técnica, Económica y Ambiental Para el Tratamiento de las Aguas Ácidas de la Mina Huanuni Mediante Drenes Anóxicos Calizos y Precipitación con Cal en Interior Mina. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4, 3–17. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522018000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Zhou, L., Dong, F., Liu, J., & Hudson-Edwards, K. A. (2017). Coupling effect of $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ and biological, nano-sized FeS-coated limestone on the removal of redox-sensitive contaminants (As, Sb and Cr): Implications for in situ passive treatment of acid mine drainage. *Applied Geochemistry*, 80, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.03.005>



ANEXOS

Anexo 1. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniac Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoniac total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FISICOS- QUIMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGANICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrín	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminths	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Anexo 2. Decreto Supremo N° 010-2010 MINAM (ECA)

424114

NORMAS LEGALES

El Peruano

Lima, sábado 21 de agosto de 2010

la Ministra de Economía y Finanzas y por el Ministro de Transportes y Comunicaciones.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

MERCEDES ARÁOZ FERNÁNDEZ
Ministra de Economía y Finanzas

ENRIQUE CORNEJO RAMÍREZ
Ministro de Transportes y Comunicaciones

533964-6

Autorizan viaje de funcionario de OSIPTEL a Colombia para participar en eventos organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

**RESOLUCIÓN SUPREMA
N° 194-2010-PCM**

Lima, 20 de agosto de 2010

Vista, la Carta N° 816-GG.RI/2010 del Gerente General del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL; y,

CONSIDERANDO:

Que, por comunicación de fecha 27 de julio de 2010 la Asesora en Gestión y Desarrollo de Recursos Humanos del Centro de Excelencia para la Región Américas de la Oficina Regional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT para las Américas ha invitado al Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL a participar en la "I Reunión del Comité Estratégico y de Calidad del Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT", así como en el "IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información en Telecomunicación - TIC en la Región Américas", a llevarse a cabo en la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 30 de agosto al 3 de setiembre de 2010;

Que, los mencionados eventos son organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y cuentan con la colaboración de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Colombia;

Que, las citadas reuniones congregarán a los expertos de la región de los organismos reguladores de telecomunicaciones y de las instituciones que forman parte de la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas de la UIT;

Que, en atención al prestigio internacional del OSIPTEL, este organismo ha sido reconocido e incorporado a la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas, habiéndose firmado para ello, el 3 de octubre de 2008, el Acuerdo de Participación de dicha Red de Nodos entre el OSIPTEL y la UIT;

Que, en el marco de este Acuerdo, el OSIPTEL y la UIT realizan actividades conjuntas con la finalidad de fortalecer las capacidades de los funcionarios del OSIPTEL, siendo la línea de contar con un mecanismo regional que fortalezca la capacidad de generar conocimiento y experiencia para el talento humano de más alto nivel de la Región Américas y contribuir a su capacitación y desarrollo;

Que, en el IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Región Américas se tratarán importantes temas del sector, tales como la participación empresarial necesaria para el aporte de las TIC al desarrollo social, las redes de bajo costo en la inclusión digital, las aplicaciones TIC en las Américas, la regulación de aplicaciones, contenidos y televisión digital;

Que, en este sentido, la participación en estos eventos permitirá obtener recursos y generar la posibilidad de capacitación a los funcionarios del OSIPTEL en políticas de telecomunicaciones, gestión o gerencia de telecomunicaciones, nuevas tecnologías, servicios de telecomunicaciones y regulación de las telecomunicaciones;

Que, el señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales además de ser el Gerente General del OSIPTEL es responsable de las coordinaciones con el Centro de Excelencia de las Américas de la UIT, por lo cual su participación permitirá un adecuado intercambio de experiencias e información sobre temas muy importantes para la regulación de los servicios públicos de telecomunicaciones y las políticas de capacitación y fortalecimiento de las capacidades de los recursos humanos del sector;

Que, la UIT asumirá los costos del pasaje aéreo del citado funcionario, correspondiendo asumir al OSIPTEL, con cargo a su presupuesto, los gastos por concepto de viáticos y tarifa única por uso de aeropuerto;

De conformidad con lo establecido por la Ley N° 27619, Ley que regula la autorización de viajes al exterior de funcionarios y servidores públicos del Poder Ejecutivo; su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 047-2002-PCM; la Ley N° 29289, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010; y el Reglamento de Organización y Funciones de la Presidencia del Consejo de Ministros, aprobado por el Decreto Supremo N° 063-2007-PCM; y,

Estando a lo acordado;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Autorizar el viaje del señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales, Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL, a la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 29 de agosto al 4 de setiembre de 2010, para los fines expuestos en la parte considerativa de la presente resolución.

Artículo 2°.- Los gastos que irrogue el cumplimiento de la presente resolución se efectuarán con cargo al presupuesto del OSIPTEL, de acuerdo al siguiente detalle:

Tarifa Única por Uso de Aeropuerto	US\$	31,00
Viáticos	US\$	1 200,00

Artículo 3°.- Dentro de los quince (15) días calendario siguientes de efectuado el viaje, el referido funcionario deberá presentar a su institución un informe detallado describiendo las acciones realizadas, los resultados obtenidos y la rendición de cuentas por los viáticos entregados.

Artículo 4°.- La presente Resolución no otorga derecho a exoneración o liberación de impuestos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

533964-7

AMBIENTE

Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas

**DECRETO SUPREMO
N° 010-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:

El Peruano

Lima, sábado 21 de agosto de 2010



NORMAS LEGALES

424117

Minas aprobará los Términos de Referencia conforme a los cuales deba elaborarse el Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como el procedimiento de evaluación de dichos planes.

Tercera.- En el plazo de dos (02) años contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio del Ambiente en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas evaluará la necesidad de establecer nuevos LMP para los siguientes parámetros:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno como nitratos
- Demanda Química de Oxígeno
- Aluminio
- Antimonio
- Manganeseo
- Molibdeno
- Níquel
- Fenol
- Radio 226
- Selenio
- Sulfatos

Para tal efecto, el Ministerio de Energía y Minas dispondrá la modificación de los Programas de Monitoreo de las actividades mineras en curso de modo que se incluyan los parámetros aquí mencionados.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
TRANSITORIA**

Única.- Hasta la aprobación del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se aplicará supletoriamente, el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, aprobado por Resolución Directoral N° 004-94-EM/DGAA.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Deróguese la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, salvo los artículos 7°, 9°, 10°, 11° y 12°, así como los Anexos 03, 04, 05 y 06, los cuales mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinte días del mes de agosto del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

PEDRO SÁNCHEZ GAMARRA
Ministro de Energía y Minas

ANEXO 01

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE
ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

(*) En muestra no filtrada

- Los valores indicados en la columna "Límite en cualquier momento" son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas; en este Protocolo se establecerán entre otros aspectos, los niveles de precisión, exactitud y límites de detección del método utilizado.

- Los valores indicados en la columna "Promedio anual" se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que éstas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas

533964-1

**COMERCIO EXTERIOR
Y TURISMO**

**Autorizan viaje de representante de
PROMPERÚ a la República Popular
China para participar en la Feria "Asia
Fruit Logística 2010"**

**RESOLUCIÓN SUPREMA
N° 103-2010-MINCETUR**

Lima, 20 de agosto de 2010

Visto el Oficio N° 301-2010-PROMPERU/SG, de la Secretaría General de la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ.

CONSIDERANDO:

Que, la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ, es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, competente para proponer y ejecutar los planes y estrategias de promoción de bienes y servicios exportables, así como de turismo interno y receptivo, promoviendo y difundiendo la imagen del Perú en materia turística y de exportaciones;

Que, PROMPERÚ, conjuntamente con cuatro empresas agroexportadoras y cinco gremios exportadores nacionales, han programado su participación en la Feria "ASIA FRUIT LOGISTICA 2010", organizado por la empresa Messe Berlin GMBH, a realizarse en la ciudad de Hong Kong, República Popular China, del 8 al 10 de setiembre del 2010, con el objetivo de promover las exportaciones de frutas y hortalizas frescas en el mercado asiático, a fin de consolidar nuestra presencia como país abastecedor de frutas y hortalizas de calidad;

Que, la participación de PROMPERÚ en este evento permitirá evaluar la participación de las empresas peruanas exportadoras en dicho mercado, así como conocer los aspectos de la cadena de comercialización y distribución de frutas y hortalizas entre las ciudades chinas de Hong Kong y Guangzhou;

Que, la Secretaría General de PROMPERÚ ha solicitado que se autorice el viaje del señor Víctor Germán Sarabia Molina, quien presta servicios en dicha entidad, para que en representación de PROMPERÚ, participe en la referida feria, realizando acciones de promoción de las exportaciones de importancia para el país y coordinando cuanto se refiere a la instalación del stand peruano;

Que, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010, prohíbe los viajes al exterior con cargo a recursos públicos, salvo los casos excepcionales que la misma Ley señala, entre ellos, los viajes que se efectúen en el marco de las acciones de promoción de importancia para el Perú, los que deben realizarse en categoría económica y ser autorizados por Resolución Suprema;

De conformidad con el Decreto de Urgencia N° 001-2010, la Ley N° 27790, de Organización y Funciones del

Anexo 3. Resultados de la evaluación del agua realizada por el laboratorio LAS



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LC - 060

Clave generada : 33EA968E

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00184

Fecha de emisión: 19/07/2023

Página 1 de 3

Señores : HUISA MAMANI FIDEL
Dirección : AV. SESQUICENTENARIO 1570 CIUDAD PUNO
Atención : HUISA MAMANI FIDEL
Proyecto : INVESTIGACION

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : HUISA MAMANI FIDEL
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 105-23
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 16/06/2023

Fecha de ensayo : 16/06/2023

Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG23000302	BOCAMINA- CANDELARIA	Agua Residual - Agua Residual Industrial	BOCAMINA CANDELARIA / DIST VILQUE / PROV. PUNO	E-362563 N-8251467	14/06/2023	11:30
Condiciones de recepción de la muestra						
Al ambiente						
Observación						
-						

Firmado por: ALFREDO SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LUYMA PE: 2007/2023 12:01:07

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Anexo 4. Resultados de metales pesados en agua realizada por el laboratorio LAS



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LC - 089

Clave generada : 33EA968E

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00184

Fecha de emisión: 19/07/2023

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		796 As mg/L	800 Hg mg/L	Ag mg/L	Al mg/L	B mg/L	Ba mg/L	Be mg/L	Ca mg/L	Cd mg/L	Co mg/L	Cr mg/L
AG23000302	BOCAMINA-CADELARRA	0,0132	≤0,00041	≤0,0024	31,627	0,3002	0,00475	≤0,000079	180,915	0,04673	1,219724	0,00430

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802											
		Cu mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Li mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Mo mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	P mg/L	Pb mg/L	Sb mg/L
AG23000302	BOCAMINA-CADELARRA	18,4605	72,252	3,345	0,02367	53,4067	13,75661	≤0,00038	26,170	0,27519	≤0,00054	0,0066	≤0,00049

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802							
		Se mg/L	SiO ₂ mg/L	Sn mg/L	Sr mg/L	Ti mg/L	Tl mg/L	V mg/L	Zn mg/L
AG23000302	BOCAMINA-CADELARRA	≤0,002	40,73	≤0,000085	0,5378	≤0,00068	≤0,0013	0,00471	3,8645

Firmado por: ALFREDO SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426, Emisor de certificado: LLAMA PE: 2007/2023 12:01:07

Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

Anexo 5. Resultados de la evaluación de metales pesados en agua realizada por el laboratorio LAS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Laboratorios Analíticos del Sur

Registro N° LC - 060

Clave generada : 33EA968E

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-23-00184

Fecha de emisión: 19/07/2023

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	¶ 0.0012 - 50 mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Mercurio Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Hg	¶ 0.00023 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ag	¶ 0.0024 - 25 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Al	¶ 0.029 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Bi	¶ 0.0053 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ba	¶ 0.00066 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Be	¶ 0.00079 - 2.5 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ca	¶ 0.016 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cd	¶ 0.00011 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Co	¶ 0.00009 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cr	¶ 0.00039 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cu	¶ 0.002 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Fe	¶ 0.016 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - K	¶ 0.036 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Li	¶ 0.00021 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mg	¶ 0.0051 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mn	¶ 0.0005 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Mo	¶ 0.00038 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Na	¶ 0.053 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ni	¶ 0.00051 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - P	¶ 0.0054 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Pb	¶ 0.006 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sb	¶ 0.0048 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Se	¶ 0.002 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - SiO ₂	¶ 2.5 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sn	¶ 0.00085 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Sr	¶ 0.0013 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Ti	¶ 0.00038 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Tl	¶ 0.0013 - 250 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - V	¶ 0.00014 - 50 mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Zn	¶ 0.0031 - 10 mg/L

¶ : Límite de detección

¶ : Límite de cuantificación

Fin del informe

Firmado por: JUANES SOTO OMAR ALFREDO GERENTE DE OPERACIONES M.S.: Ingeniero Químico CIP 114426. Emisor de certificado: LLAMA PE 2007/2023 12/01/07

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción, parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443284 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo 6. Resultados del análisis de carbonato de calcio

 **Universidad Nacional del Altiplano - Puno**
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD ACREDITADA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Nº 001166

LQ - 2021

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis de Carbonato de Calcio: Cantera Caracoto y UNA-PUNO
PROCEDENCIA : Cantera de cemento Sur, Distrito de Caracoto, Provincia de San Román
INTERESADO : FIDEL HUISA MAMANI
MOTIVO : porcentaje de Carbonato de Calcio
MUESTREO : 17/12/2020, por el interesado
ANÁLISIS : 17/12/2020
COD. MUESTRA : F009-000142

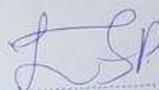
CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

COLOR : Característico: grisacio
CONSISTENCIA : Solido y seco

CARACTERÍSTICAS FISICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS ANALIZADOS	RESULTADOS		UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS
	Muestra 1 Caracoto	Muestra 2 UNA		
CaCO ₃	98.97	90.90	%	AOAC 925.10

C.U. Puno 05 de enero del 2021


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 152903

 
Walter B. Aparicio Aragón, PR.D.
DECANO - FIQ - UNA

Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ing. Química - Telefax: (051) 366190

Anexo 7. Resultados de parámetros fisicoquímicos de 1 ½ “



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL



INFORME DE ANÁLISIS

N° 07-LA136

<p>ASUNTO: Análisis fisicoquímico con el multiparámetro HANNA HI98199</p> <p>PROCEDENCIA: Aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales</p> <p>TELEFONO: cel. 951 921 282</p> <p>PROYECTO DE TESIS: "DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES"</p>	<p>CODIGO DE LABORATORIO: L01- LA136</p> <p>N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES</p> <p>FECHA DE INGRESO: 15/05/2023</p> <p>TIPO DE SERVICIO: Único</p> <p>TESISTA: FIDEL HUISA MAMANI</p>
---	---

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

<p>TIPO DE MUESTRA: agua</p> <p>DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de parámetros fisicoquímicos</p> <p>CANTIDAD DE MUESTRAS: 12</p>	<p>TEMPERATURA DEL RECIPIENTE: <input checked="" type="checkbox"/> Ambiente <input type="checkbox"/> Refrigeración</p> <p>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 15/05/2023</p>
---	---

I.- RESULTADO ANALISIS DE TRATAMIENTO DE 1 ½”

(ppm)OD	(µS/cm) CE	pH	(mV)ORP	(ppm)Tds
2.03	1741	6.13	27.5	935
2.13	1716	6.82	22.8	820
2.07	1739	6.59	23.3	865
2.12	1724	6.13	30.0	902
2.29	1731	5.81	42.9	828
2.21	1719	6.41	37.6	918
2.18	1727	5.14	42.5	864
2.09	1723	4.92	56.5	813
2.10	1742	5.70	47.1	821
2.08	1748	5.91	47.0	829
2.08	1723	5.68	49.9	815
2.08	1735	5.19	50.7	827



M.Sc. Fidel Huisa Mamani
JEFE DE LABORATORIO DE MONITOREO
Y EVALUACION AMBIENTAL DE LA FIM UNA

Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio se
prohíbe la reproducción parcial de este sin la aprobación escrita del laboratorio

Anexo 8. Resultados de parámetros fisicoquímicos de 1 “



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL



INFORME DE ANÁLISIS

N° 08-LA136

<p>ASUNTO: Análisis fisicoquímico con el multiparámetro HANNA HI98199</p> <p>PROCEDECIA: Aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales</p> <p>TELEFONO: cel. 951 921 282</p> <p>PROYECTO DE TESIS: "DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES"</p>	<p>CODIGO DE LABORATORIO: L01- LA136</p> <p>N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES</p> <p>FECHA DE INGRESO: 15/05/2023</p> <p>TIPO DE SERVICIO: Único</p> <p>TESISTA: FIDEL HUISA MAMANI</p>
--	---

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

<p>TIPO DE MUESTRA: agua</p> <p>DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de parámetros fisicoquímicos</p> <p>CANTIDAD DE MUESTRAS: 12</p>	<p>TEMPERATURA DEL RECIPIENTE: <input checked="" type="checkbox"/> Ambiente <input type="checkbox"/> Refrigeración</p> <p>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 15/05/2023</p>
---	---

II.- RESULTADO ANALISIS DE TRATAMIENTO DE 1"

(ppm)OD	(µS/cm) CE	pH	(mV)ORP	(ppm)Tds
1.90	1803	6.78	18.4	912
2.07	1786	6.52	19.9	901
2.02	1912	7.02	21.6	876
2.09	1842	6.78	19.8	845
2.29	1812	6.01	38.2	906
2.22	1829	6.48	37.7	914
2.19	1763	5.94	39.7	882
2.09	1582	6.18	56.5	791
2.09	1670	6.28	55.5	835
2.10	1718	6.51	44.1	859
2.06	1664	6.42	44.9	832
2.09	1683	6.19	45.2	841



Fidel Huisa Mamani
JEFE DE LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL

Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio se prohíbe la reproducción parcial de este sin la aprobación escrita del laboratorio

Anexo 9. Resultados de parámetros fisicoquímicos de 3/4 “



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL



INFORME DE ANÁLISIS

N° 09-LA136

ASUNTO: Análisis fisicoquímico con el multiparámetro HANNA HI98199
PROCEDENCIA: Aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales
TELEFONO: cel. 951 921 282
PROYECTO DE TESIS: "DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES"

CODIGO DE LABORATORIO: L01- LA136
N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES
FECHA DE INGRESO: 15/05/2023
TIPO DE SERVICIO: Único
TESISTA: FIDEL HUISA MAMANI

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

TIPO DE MUESTRA: agua
DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de parámetros fisicoquímicos
CANTIDAD DE MUESTRAS: 12

TEMPERATURA DEL RECIPIENTE: Ambiente Refrigeración
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 15/05/2023

II.- RESULTADO ANALISIS DE TRATAMIENTO DE 3/4"

(ppm)OD	(µS/cm) CE	pH	(mV)ORP	(ppm)Tds
1.99	1813	6.50	21.8	912
2.13	1823	6.87	20.6	920
2.05	1810	6.90	22.5	853
2.12	1824	6.50	26.0	846
2.30	1766	6.80	35.8	883
2.21	1880	6.42	39.2	940
2.20	1805	6.05	39.2	902
2.10	1575	6.09	76.0	788
2.07	1722	6.45	47.4	861
2.11	1736	6.53	46.0	868
2.06	1638	6.40	47.9	819
2.04	1658	6.19	44.4	829

M.Sc. Fidel Huisa Mamani
JEFE DE LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL DE LA P.M. UNA

Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio se prohíbe la reproducción parcial de este sin la aprobación escrita del laboratorio

Anexo 10. Resultados de análisis de tratamiento del dren anoxico calizo de 1 ½ “



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL



INFORME DE ANÁLISIS

N° 11-LA136

<p>ASUNTO: Análisis de los metales pesados por Espectrofotómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas 4210 MP-AES</p> <p>PROCEDENCIA: Aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales</p> <p>TELEFONO: cel. 951 921 282</p> <p>PROYECTO DE TESIS: "DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES"</p>	<p>CODIGO DE LABORATORIO: L01- LA136</p> <p>N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES</p> <p>FECHA DE INGRESO: 16/06/2023</p> <p>TIPO DE SERVICIO: Único</p> <p>TESISTA: FIDEL HUISA MAMANI</p>
---	---

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

<p>TIPO DE MUESTRA: agua</p> <p>DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de metales pesados</p> <p>CANTIDAD DE MUESTRAS: 08</p>	<p>TEMPERATURA DEL RECIPIENTE: <input checked="" type="checkbox"/> Ambiente <input type="checkbox"/> Refrigeración</p> <p>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 19/06/2023</p>
---	---

I.- RESULTADO ANALISIS DE TRATAMIENTO DE 1 ½”

N°	1"				
	Zinc (Zn)	Cobre (Cu)	Arsénico (As)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)
1	3.86	18.46	0.013	30.77	0.11
2	3.45	16.23	0.012	25.69	0.65
3	3.49	16.25	0.013	18.13	0.31
4	3.25	17.26	0.014	20.67	0.68
5	2.32	16.59	0.015	20.79	0.69
6	2.29	18.2	0.014	16.36	0.71
7	1.32	17.63	0.012	12.29	0.83
8	1.31	17.21	0.011	9.69	0.61



Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio se prohíbe la reproducción parcial de este sin la aprobación escrita del laboratorio

Anexo 11. Resultados de análisis de tratamiento del dren anoxico calizo de 1"



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL



INFORME DE ANÁLISIS

N° 12-LA136

ASUNTO: Análisis de los metales pesados por Espectrofotómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas 4210 MP-AES
PROCEDENCIA: Aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales
TELEFONO: cel. 951 921 282
PROYECTO DE TESIS: "DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES"

CODIGO DE LABORATORIO: L01- LA136
N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES
FECHA DE INGRESO: 20/06/2023
TIPO DE SERVICIO: Único
TESISTA: FIDEL HUISA MAMANI

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

TIPO DE MUESTRA: agua
DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de parámetros fisicoquímicos
CANTIDAD DE MUESTRAS: 08

TEMPERATURA DEL RECIPIENTE: Ambiente
 Refrigeración

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 22/06/2023

II.- RESULTADO ANALISIS DE TRATAMIENTO DE 1"

N°	1"				
	Zinc (Zn)	Cobre (Cu)	Arsénico (As)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)
1	3.86	18.46	0.013	30.77	0.11
2	3.45	16.23	0.012	25.69	0.65
3	3.49	16.25	0.013	18.13	0.31
4	3.25	17.26	0.014	20.67	0.68
5	2.32	16.59	0.015	20.79	0.69
6	2.29	18.2	0.014	16.36	0.71
7	1.32	17.63	0.012	12.29	0.83
8	1.31	17.21	0.011	9.69	0.61



Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio se prohíbe la reproducción parcial de este sin la aprobación escrita del laboratorio

Anexo 12. Resultados de análisis de tratamiento del dren anoxico calizo de 3/4 “



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL



INFORME DE ANÁLISIS

N° 13-LA136

<p>ASUNTO: Análisis metales pesados por Espectrofotómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas 4210 MP-AES</p> <p>PROCEDENCIA: Aguas ácidas de mina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales</p> <p>TELEFONO: cel. 951 921 282</p> <p>PROYECTO DE TESIS: "DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES"</p>	<p>CODIGO DE LABORATORIO: L01- LA136</p> <p>N° ORDEN: LMEA – 4210 – MP – AES</p> <p>FECHA DE INGRESO: 26/06/2023</p> <p>TIPO DE SERVICIO: Único</p> <p>TESISTA: FIDEL HUISA MAMANI</p>
--	---

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

<p>TIPO DE MUESTRA: agua</p> <p>DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de parámetros fisicoquímicos</p> <p>CANTIDAD DE MUESTRAS: 08</p>	<p>TEMPERATURA DEL RECIPIENTE: <input checked="" type="checkbox"/> Ambiente <input type="checkbox"/> Refrigeración</p> <p>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 26/06/2023</p>
---	---

II.- RESULTADO ANALISIS DE TRATAMIENTO DE 3/4”

N°	3/4”				
	Zinc (Zn)	Cobre (Cu)	Arsénico (As)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)
1	3.23	17.36	0.015	29.77	0.15
2	3.45	18.36	0.011	26.69	0.26
3	3.26	18.23	0.016	28.13	0.36
4	3.86	18.36	0.015	20.67	0.26
5	3.65	18.56	0.019	26.16	0.39
6	3.45	19.23	0.021	29.45	0.45
7	3.56	18.23	0.022	26.12	0.21
8	3.56	18.45	0.023	23.15	0.52



Fidel Huisa Mamani
JEFE DE LABORATORIO DE MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL DE LA FIM UNA.

Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio se prohíbe la reproducción parcial de este sin la aprobación escrita del laboratorio

Anexo 13. Certificado de operatividad del Espectrofotómetro 4210 MP-AES

EQUANTI

Equipos Analíticos y Tecnología de Información S.A.C.

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Declaración del resultado obtenido en la Verificación Operacional del Sistema Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas.

- La Verificación Operacional del sistema, Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas ha sido evaluado de acuerdo con los requerimientos de Agilent Technologies.
- La Verificación operacional fue superada satisfactoriamente.

EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE
Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas	Agilent Technologies	4210	MY20339003
Generador de Nitrógeno	PEAK	Halo	720111431
PC	DELL	Optiplex 7080	BF8H673
Monitor	DELL		JRZ3Q63

Ubicación : Facultad de Ingeniería de Minas
Compañía : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Responsable del Servicio : Carlos Quispe
Fecha : 8 de febrero de 2021
Nombre y firma del usuario : Yessenia Velasquez
Firma del responsable del servicio :

EQUANTI

.....
CARLOS QUISPE RÍOS
FIELD SERVICE SPECIALIST

M.Sc. Fidel Huasa Mamani
JEFE DE LABORATORIO DE MONITOREO
CALIDAD AMBIENTAL DE LA PUNO

Anexo 14. Certificado de calibración del Espectrofotómetro 4210 MP-AES



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración

LAC - 031 - 2016

Laboratorio de Acústica

Página 1 de 9

Expediente	87174	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metroológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Solicitante	AWS CONSULTING S.A.C.	
Dirección	Ca. Cnel. Bruno Morales Bermúdez N° 241 - Urb. Las Gardenias - Santiago de Surco	
Instrumento de Medición	Sonómetro	
Marca	CASELLA	
Modelo	CEL-6X0	
Procedencia	UK	
Resolución	0,1 dB	
Clase	1	
Número de Serie	0401979	
Micrófono	NO INDICA	
Serie del Micrófono	1808	
Fecha de Calibración	2016-03-22 al 2016-03-23	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma y sello carecen de validez.

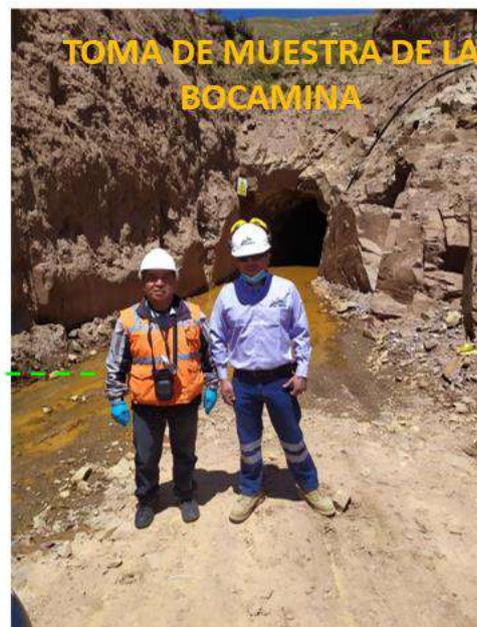
Fecha	Responsable del Área de Electricidad y Termometría	Responsable del laboratorio
 2016-03-23	 EDVIN FRANCISCO GUILLEN MESTAS	 HENRY CÁRDENAS

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Las Carnellas N° 815, San Isidro, Lima - Perú
Tel.: (01) 640-8920 Anexo 1501
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe

Anexo 15. Imágenes del área de investigación



Toma de muestras en la planta los Rosales



Anexo 16. Proceso de selección de materia prima



**REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE LA
PIEDRA CALIZA**



**TAMIZADO DE LA
CALIZA**

Tamizado de muestras en diferentes granulometrías



Anexo 17. Procedimiento del cálculo de densidad



Granulometría ¾"
Masa = 16697.0 g



Granulometría 1"
Masa = 17723.5 g

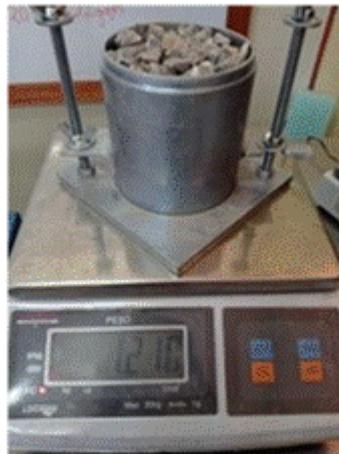


Granulometría 1 1/2"
Masa = 17360.5 g

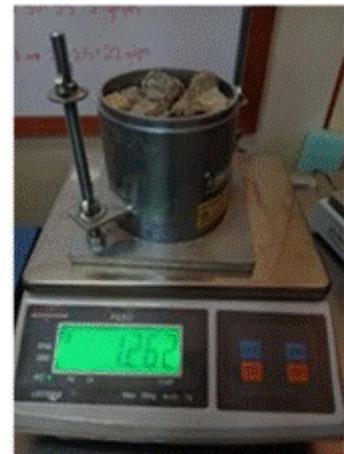
Pesado de la caliza de la densidad



Diámetro	10,2 cm
Altura	11,6 cm



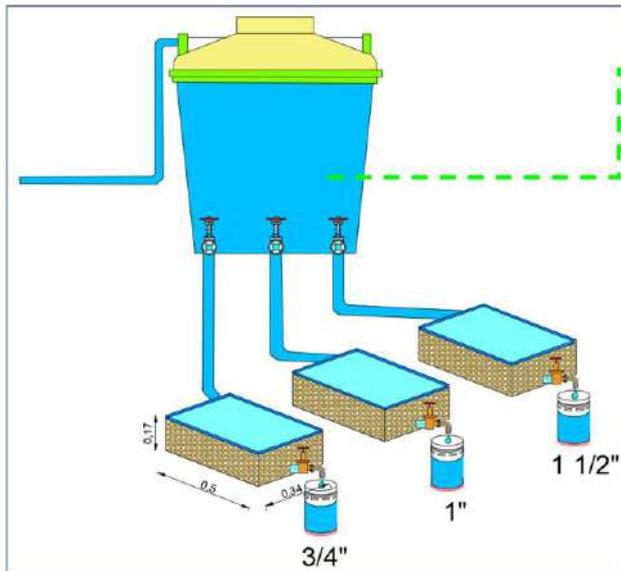
Diámetro	10,2 cm
Altura	11,6 cm



Diámetro	10,2 cm
Altura	11,6 cm

Anexo 18. Diseño de dren anóxico calizo

DISEÑO DEL REACTOR



CÁLCULO DE DENSIDAD DE CADA GRANULOMETRÍA



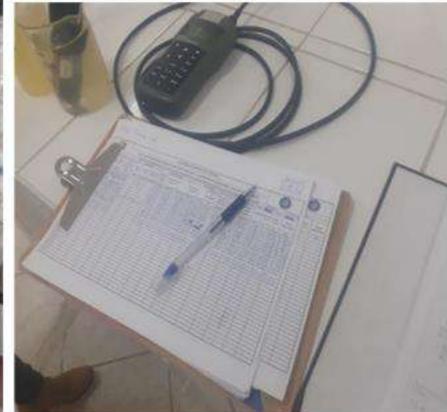
Anexo 19. Medición de parámetros fisicoquímicos en cada reactor



Parámetros fisicoquímicos en diferentes tiempos



Anexo 20. Medición de parámetros fisicoquímicos en cada reactor



**MEDICIÓN DE
PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS**

Registro de las mediciones de características fisicoquímicas en cada reactor



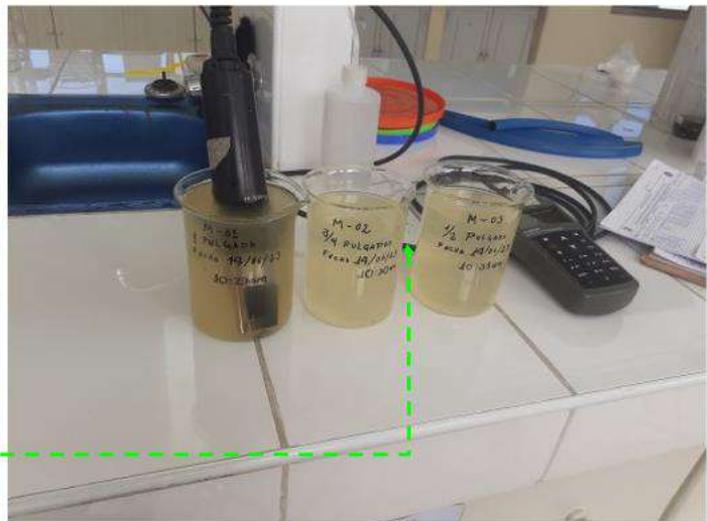
**MULTIPARÁMETRO
HANNA INSTRUMENTS
HI9829**



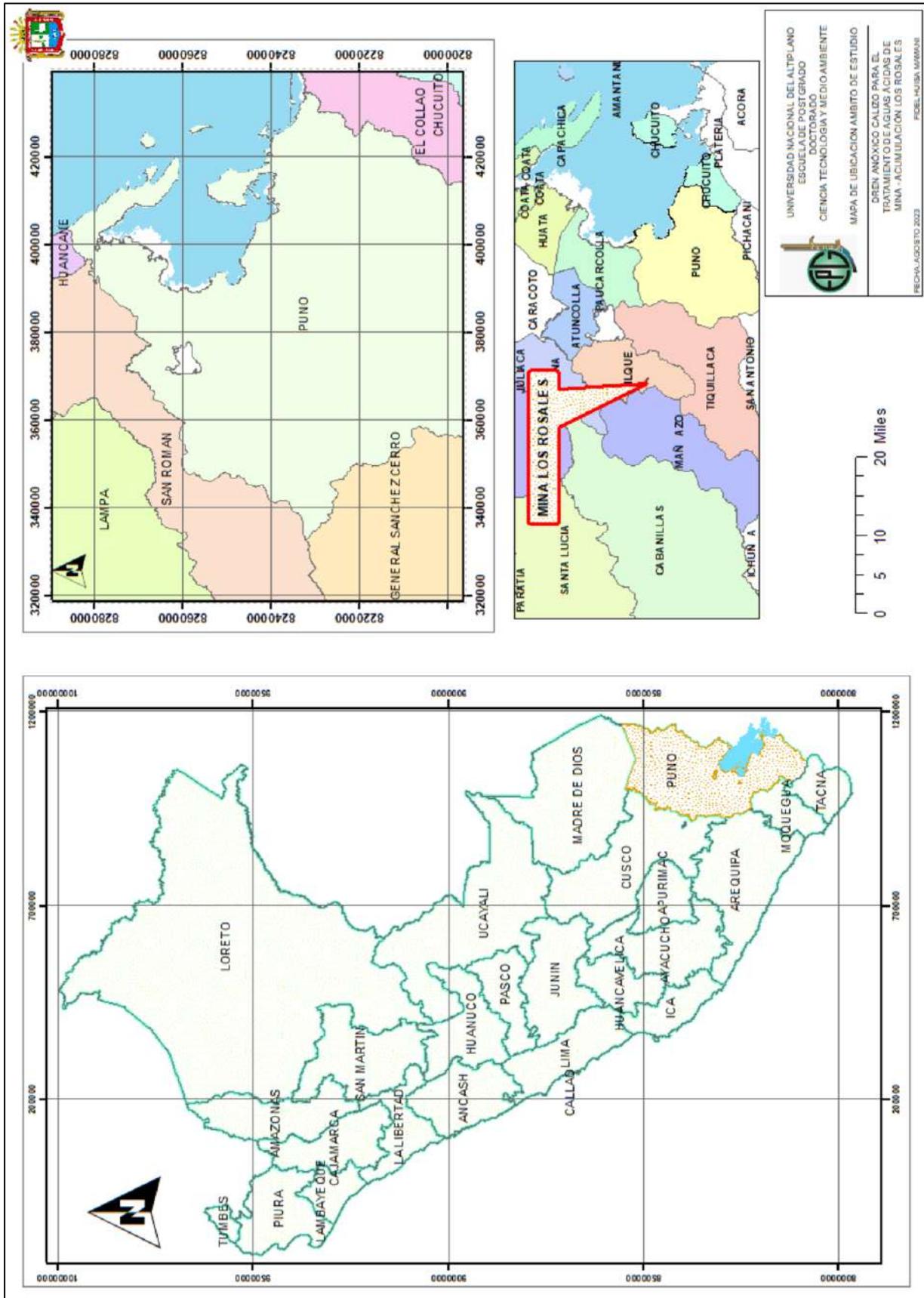
Anexo 21. Medición de metales pesados por espectrofotómetro 4210 MP-AES



**ESPECTROFOTÓMETRO DE EMISIÓN
ATÓMICA POR PLASMA MICROONDAS
4210 MP-AES**



Anexo 22. Mapa de ubicación del ámbito de estudio





Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FIDEL HUISA MAMANI
identificado con DNI 01286423 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“ DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE
MINA - ACUMULACIÓN LOS ROSALES ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 25 de octubre del 20 23



FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo FIDEL HUISA MAMANI
identificado con DNI 01286423 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ DREN ANÓXICO CALIZO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA
- ACUMULACIÓN LOS ROSALES ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 25 de octubre del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella