



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

EFFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS ROSALES - PUNO

PRESENTADA POR:

AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE**

PUNO, PERÚ

2024

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA RE
MEDIACION DEL DRENAJE ACIDO DE LA
SMRL ACUMULACION LOS ROSALES – P**

AUTOR

**AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERA
S**

RECUESTO DE PALABRAS

23441 Words

RECUESTO DE CARACTERES

120342 Characters

RECUESTO DE PÁGINAS

117 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.9MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 7, 2024 8:38 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 7, 2024 8:41 PM GMT-5

● **12% de similitud general**

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

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Dr. Ing. Fernando B. Salas Urviola



Resumen

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

TESIS

**EFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE
ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS ROSALES - PUNO**



PRESENTADA POR
AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
Dra. SOFÍA LOURDES BENAVENTE FERNÁNDEZ

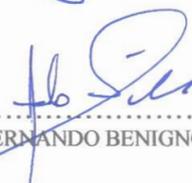
PRIMER MIEMBRO


.....
D.Sc. ROSARIO EDELEY ORTEGA BARRIGA

SEGUNDO MIEMBRO


.....
D.Sc. LEONIDAS VILCA CALLATA

ASESOR DE TESIS


.....
D.Sc. FERNANDO BENIGNO SALAS URVIOLA

Puno, 14 de junio de 2024

ÁREA: Ciencias de la ingeniería.

TEMA: Efecto del CAOLÍN (CHACO) en la remediación del drenaje ácido de la SMRL acumulación los Rosales - Puno.

LÍNEA: Recursos naturales y medio ambiente.



DEDICATORIA

Con cariño y gratitud:

A mi esposa Evangelina, a mis hijos
Jeamil y Jeandely por su apoyo
incondicional y motivarme siempre. A
Muret Antonela mi nieta por brindarme
momentos gratos con su alegría.

Con el cariño de siempre a mis
queridos hermanos Juan Einar, Delbert
Adolfo (+), Bolmer Augusto, Ciro Italo,
Adilmi Milagro, Percy Marco, Helder Uriel
y Elvis Renato; por su motivación y apoyo
moral permanente.

Amilcar Giovanni Teran Dianderas.



AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento y reconocimiento:

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano, Doctorado de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, por haberme brindado mayores conocimientos.

A mi asesor D.Sc. Fernando Benigno Salas Urviola, por las orientaciones brindadas a lo largo de la investigación.

A los miembros del jurado: Dra. Sofia Lourdes Benavente Fernández, D.Sc. Rosario Edely Ortega Barriga, D.Sc. Leónidas Vilca Callata; cuyos comentarios ayudaron a especificar de mejor manera la presente investigación.

A los directivos de la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Acumulación Los Rosales, por permitirme la toma de muestras en el ámbito de sus operaciones.

Al laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, por brindarme sus ambientes y equipos para el desarrollo de la presente investigación; mi especial agradecimiento a su personal D.Sc. Fidel Huisa Mamani, Dr. Wilber Pastor Contreras, Ing. Mishell Julisa Mamani Flores y al Tec. Lab. Nemesio Carreón Coila, por las facilidades prestadas.

Amilcar Giovanni Teran Dianderas.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ACRÓNIMOS	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco teórico	5
1.1.1	Contaminación ambiental	5
1.1.2	Pasivos ambientales	5
1.1.3	Drenaje acido de mina	6
1.1.4	Categorías de drenajes de mina	7
1.1.5	Drenajes alcalinos	8
1.1.6	Drenajes ácidos	8
1.1.7	Acidez de aguas de mina	9
1.1.8	Metales asociados en la generación del drenaje acido	10
1.1.9	Arcilla	10
1.1.10	Caolinita o chaco	11
1.1.11	Propiedades de la arcilla	12
1.1.12	Beneficios del chaco (caolinita)	12
1.1.13	Tipos de chaco	13
1.1.14	Arcilla blanca o caolinita	14
1.1.15	Arcilla roja	14
1.1.16	La palygorskita	14
1.1.17	El pH	14
1.1.18	Rocas sedimentarias	15
		iii



1.1.19	Metales pesados	15
1.1.20	Mercurio total (Hg)	16
1.1.21	Consecuencias en la salud humana	16
1.1.22	Arsénico	17
1.1.23	Impactos en la salud humana y el medio ambiente	18
1.1.24	Cadmio	18
1.1.25	Plomo	20
1.2	Antecedentes	21
1.2.1	Internacionales	21
1.2.2	Nacionales	29
1.2.3	Locales	30

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	32
2.2	Enunciados del problema	33
2.2.1	Problema general	33
2.2.2	Problemas específicos	33
2.3	Justificación	33
2.4	Objetivos	34
2.4.1	Objetivo general	34
2.4.2	Objetivos específicos	34
2.5	Hipótesis	34
2.5.1	Hipótesis general	34
2.5.2	Hipótesis específicas	34

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Lugar de estudio	35
3.1.1	Ubicación del proyecto	35
3.1.2	Accesibilidad	36
3.1.3	Clima	36
3.1.4	Geología local	36
3.1.5	Los Rosales	37
3.1.6	Estratigrafía	37



3.2	Población	38
3.3	Muestra	38
3.4	Método de investigación	38
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	38
3.5.1	Comparar el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”	38
3.5.2	Determinar la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno	46

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Comparar el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”	51
4.1.1.	Capacidad y Concentración	53
4.1.2.	Pronóstico de parámetros fisicoquímicos	54
4.1.3.	Concentración para 100 ppm	60
4.2	Determinar la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno	64
4.2.1.	Análisis de varianza	68

CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	82



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Clasificación de las aguas residuales de mina	7
2. Variaciones de acidez en drenajes de mina	9
3. Propiedades físicas del chaco	13
4. Propiedades físicas del arsénico	17
5. Propiedades físicas del cadmio	19
6. Propiedades físicas del plomo	20
7. Coordenadas del lugar de estudio	35
8. Acceso al sitio	36
9. Ensayos con caolinita preparaciones en disoluciones de 600 mg/L	44
10. Características de los métodos empleados	47
11. Parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento con la caolinita – chaco	52
12. Concentraciones de 20 ppm	52
13. Concentración para 100 ppm	53
14. Concentración de metales	65
15. Concentraciones de metales para un tiempo de 15 minutos	66
16. Análisis de varianza	68
17. Resumen del modelo	69
18. Medidas de tendencia, desviación estándar e índice de confiabilidad	69



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Factores de afectan a la generación AMD temperatura, pH, Fe ³⁺	10
2. Caolinita chaco	11
3. Valoraciones de pH de agua	14
4. Mapa de sitio de investigación	35
5. Cadena de custodia para muestras de agua	40
6. Longitud de onda de los átomos	48
7. Tratamiento de agua de mina con caolinita en 20, 60, 80 y 100ppm en 15 minutos	49
8. Pronostico del contenido de pH en agua	55
9. Predicción para potencial de oxidación y reducción (ORP)	56
10. Solidos totales disueltos en una concentración de 20 ppm	57
11. Conductividad eléctrica	58
12. Oxígeno disuelto	59
13. Pronóstico de pH a una concentración de 100 ppm de caolinita en ADM	60
14. Pronóstico para (ORP) en concentración de 100 ppm	61
15. Pronóstico para TDS en concentración de 100 ppm	62
16. Pronóstico para $\mu\text{S}/\text{cm}$ en concentración de 100 ppm	63
17. Pronóstico para OD en concentraciones de 100 ppm	64
18. Concentración para 20, 60, 80 y 100 ppm	68
19. Intervalos de desviación estándar para metales	70



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Matriz de consistencia	82
2. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	83
3. Decreto Supremo N° 010-2010 MINAM (ECA)	85
4. Resultados de parámetros fisicoquímicos	88
5. Análisis de metales pesados por espectrofotómetro de emisión atómica	93
6. Certificado de operatividad del plasma microondas 4210 MP-AES	95
7. Certificado de calibración del plasma microondas 4210 MP-AES	96
8. Panel fotográfico	97
9. Preparación de la caolinita – chaco en LMEA	99
10. Columna estratigráfica	104
11. Mapa de ubicación	105



ACRÓNIMOS

Sigla	Denominación
AAS	Espectrofotómetro de absorción atómica
AMD	Drenaje ácido de mina
ASTM	American Society for Testing and Materials.
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
EEA	Espectrofotometría por Absorción Atómica
EPA	Agencia de Protección al Ambiente
FIM	Facultad de Ingeniería de Minas
ICP-AES	Plasma acoplado por inducción (Advanced Encryption Standard)
Jar Test	Prueba de jarras
mg/kg	Miligramos/kilogramos
MINAM	Ministerio del Ambiente
mm	Milímetros
MP-AES	Agilent microwave plasma atomic emission spectrometers
µg/L	Microgramo por litro
OD	Oxígeno disuelto
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
ORP	Potencial de oxidación/reducción
OMS	Organización Mundial de la Salud
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
TDS	Sólidos totales disueltos
WGS-84	World Geodetic System 1984
ZVT	Toba volcánica zeolítica

RESUMEN

El tratamiento de las aguas ácidas de mina implica diferentes procesos en la neutralización y la precipitación de metales pesados mediante diversas aplicaciones y técnicas. Comparar el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”, para determinar la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno. La investigación tubo un enfoque cuantitativo; nivel descriptivo, tipo aplicativo, diseño no experimental – transversal; el análisis se realizó en el laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la FIM, para metales pesados fue por espectroscopía de emisión atómica con plasma microondas (4210 MP-AES). Los resultados fisicoquímicos después de haber realizado el tratamiento con la caolinita “Chaco”, en una concentración de 100 ppm, a 200 rpm en un tiempo de 15 minutos se logró obtener un pH de 5,02, un ORP de 80,45 mV, TDS 800 ppm, conductividad eléctrica 12,99 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y OD 2,78 ppm. Se efectuó un pronóstico de 8 eventos para cada parámetro fisicoquímico, en 31 minutos manifestó un pH de 6,11; con 100 ppm de caolinita en 100 ml de agua acida, reportaron valores de reducción de la concentración inicial de metales pesados del 98.51% en As, 79.79% en Pb, 77.62% en Hg, 59.21% en Al, 54.51% en Mn, y 76.49% en Fe, en un tiempo de contacto de 15 min, lo que garantiza resultados favorables y consistentes para la remediación del drenaje acido de mina.

Palabras clave: Absorción de metales pesados, caolinita “Chaco”, concentraciones, parámetros fisicoquímicos, tratamiento.

ABSTRACT

The treatment of acid mine water involves different processes in the neutralization and precipitation of heavy metals through various applications and techniques. To compare the behavior of pH and physicochemical parameters before and after applying the treatment with "Chaco" kaolinite, to determine the concentration of metals and optimum contact time with the "Chaco" kaolinite of the acid drainage of the SMRL Acumulación Los Rosales - Puno. The research had a quantitative approach; descriptive level, applicative type, non-experimental - transversal design; the analysis was carried out in the Environmental Monitoring and Evaluation laboratory of the FIM, for heavy metals it was by atomic emission spectroscopy with microwave plasma (4210 MP-AES). The physicochemical results after treatment with "Chaco" kaolinite, at a concentration of 100 ppm, at 200 rpm in a time of 15 minutes, obtained a pH of 5.02, an ORP of 80.45 mV, TDS 800 ppm, electrical conductivity 12.99 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and OD 2.78 ppm. A prognosis of 8 events was made for each physicochemical parameter, in 31 minutes it showed a pH of 6.11; with 100 ppm of kaolinite in 100 ml of acid water, they reported values of reduction of the initial concentration of heavy metals of 98.51% in As, 79.79% in Pb, 77.62% in Hg, 59.21% in Al, 54.51% in Mn, and 76.49% in Fe, in a contact time of 15 min, which guarantees favorable and consistent results for the remediation of acid mine drainage.

Keywords: Absorption of heavy metals, "Chaco" kaolinite, concentrations, physicochemical parameters, treatment.

INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de mina (AMD) ricos en metales pesados generados por minas activas y abandonadas, así como los desechos mineros. Se forma tras la oxidación de materiales que contienen sulfuros como pirita, arsenopirita y marcasita (Azizi et al., 2024). Las reacciones químicas que conducen a la formación de DMAE se producen en presencia de oxígeno atmosférico y agua y están mediadas por bacterias oxidantes de sulfato siguiendo un proceso gradual paso a paso. Una vez en contacto con el oxígeno y el agua, los materiales que contienen sulfuro, como la pirita que presenta la modificación de su estado acido-base.

El drenaje ácido de las minas es perjudicial para los seres humanos, los animales, las plantas y vida acuática, causa la muerte de los peces. Algunos metales producidos en la industria minera, como Cd, Pb, Cu, Zn, Ni y Hg, pueden acumularse en el cuerpo humano y provocar enfermedades graves. La biología de las plantas y la vida acuática también puede verse afectada por la toxicidad de los metales. Además, estos organismos no sólo actúan como receptores de la contaminación sino también como vía hacia los humanos a través de las cadenas alimentarias (Du et al., 2022). Incluso si la contaminación proviene de una única fuente, los impactos no se limitan al área local, sino que también pueden afectar regiones distantes, ya que el agua puede transportar la contaminación a lo largo de ríos o arroyos.

El tratamiento de las aguas acidas de mina, requiere la consideración de dos pasos principales que son la neutralización de la acidez y la eliminación de los metales pesados de la solución. Durante este trabajo de investigación se ha desarrollado la neutralización de las aguas acidas de mina y la reducción de metales como Fe, con la combinación de la caolinita (chaco) de origen sedimentario extraído del distrito de Asillo Provincia de Azángaro, se desarrollaron los trabajos en el laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNA-Puno mediante el método de prueba de jarras se combinó la caolinita con el agua acida de mina en concentraciones de 20 ppm, 60 ppm, 80 ppm y 100 ppm a un giro de 200 rpm respectivamente.

Este trabajo de investigación contiene lo siguiente; El capítulo I, muestra de forma concisa el marco teórico donde se compilaron las referencias de investigaciones ejecutadas en argumentos equivalentes. Estos trabajos sirven como base para esta investigación y se amparan mediante métodos de validación. El capítulo II, detalla el



problema de acuerdo con los objetivos planteados. En capítulo III, contiene la descripción del lugar de investigación, se muestra la población y la muestra planteada para este trabajo, también contiene el proceso metodológico que se ha utilizado en la elaboración de este estudio para alcanzar los objetivos específicos, se detallan las variables dependientes e independientes, los equipos y materiales manejados en este trabajo. El capítulo IV, describe los resultados y las discusiones obtenidas, incluyendo las tablas estadísticas formadas con el software Minitab V19, así como los resultados del laboratorio. Por último, las conclusiones y recomendaciones oportunas, las bibliografías consultadas y los respectivos anexos e imágenes tomadas en el desarrollo de este trabajo.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Contaminación ambiental

La actividad humana en algunos lugares conlleva cambios en su entorno estos cambios generan una presión de los recursos naturales especialmente en los sitios donde existe depósitos de minerales de interés económico. La actividad minera no sostenible genera la degradación del suelo, la erosión, la contaminación del agua y la pérdida de ecosistemas, entre otros efectos, esto resulta una inestabilidad ambiental. La minería no sostenible tiene consecuencias negativas significativas en la sociedad, la economía y el medio ambiente, según lo señalado por (Masindi et al., 2019). Por lo tanto, el rubro minero debe implementar habilidades para reducir estos impactos ambientales perjudiciales, tal como sugiere (Silva et al., 2021). Los perjuicios causados por la minería al medio ambiente modifican en función del método de explotación, el proceso de beneficio, la escala operativa, la ubicación y otros factores ambientales.

1.1.2 Pasivos ambientales

Son impactos negativos que se dejan en el medio ambiente como resultado de las actividades mineras pasadas, presentes o futuras. Estos impactos provocan la contaminación del agua, suelo y aire, así como la degradación del paisaje y la pérdida de biodiversidad. Los pasivos mineros surgen de una variedad de trabajos mineros, mediate la extracción de minerales, procesamiento de minerales, acumulación de desechos y la remediación de áreas mineras abandonadas. Estos pasivos representan riesgos reveladores para la salud humana y sobre todo el medio ambiente, estos pasivos necesitan una atención en la remediación y mitigación para minimizar su impacto ya sea a largo plazo (Rodríguez et al., 2024).

Los procesos de rehabilitación de los pasivos mineros, compensación y mejoramiento ambiental, durante y después del ciclo de vida de las operaciones extractivas, deben ser relevantes para las empresas mineras bajo la visión de

reducir los riesgos ambientales, sociales y de seguridad para los entes locales y regionales bajo el enfoque del conflicto ambiental y finalmente para las comunidades, la realidad es que la falta de responsabilidad y preocupación por parte de las empresas mineras por asumir los costos asociados al deterioro del paisaje, y con ello las repercusiones para las comunidades locales, junto con un marco institucional débil con instrumentos de control inadecuados, generan que sean los mismos miembros de las comunidades locales quienes terminen asumiendo las consecuencias negativas de esta actividad económica, desatando una cascada de situaciones que amenazan la ya frágil estabilidad socioeconómica que caracteriza los territorios focales de la minería industrial a nivel mundial.

1.1.3 Drenaje ácido de mina

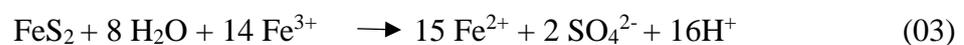
El drenaje ácido de mina (AMD) son subproductos ácidos de minas ricos en metales e iones sulfato (SO_4^{2-}) y generados por minas activas y abandonadas, se forma tras la oxidación de materiales que contienen sulfuros como pirita, arsenopirita y marcasita (Masindi et al., 2019). Las reacciones químicas que conducen a la formación de DMAE se producen en presencia de oxígeno atmosférico y agua y están mediadas por bacterias oxidantes de sulfato siguiendo un proceso gradual paso a paso (Azizi et al., 2024). Una vez en contacto con el oxígeno y el agua, los materiales que contienen sulfuro, como la pirita, se oxidan como se ilustra en la ecuación.



La oxidación de la pirita en presencia de agua y oxígeno conduce a la formación de (SO_4^{2-}), ion ferroso [Fe (II)] e ion hidrógeno (H^+) [ecuación (01)]. Una vez formado, el Fe (II) se oxida inmediatamente para formar ion férrico [Fe (III)] como se ilustra en la ecuación 2.



El Fe (III) producido después de la ecuación (2) puede posteriormente oxidar la pirita para generar más H^+ como se muestra en la ecuación 3



Estas reacciones químicas ocurren de forma espontánea, mediadas por microorganismos (bacterias oxidantes de hierro y sulfato) y dando como resultado la producción de más iones de hidrógeno (H^+). Las desagradables aguas residuales son ricas en aluminio, hierro, manganeso, iones sulfatos (SO_4^{2-}), trazas de metales como cobre (Cu), plomo (Pb), níquel (Ni) y zinc (Zn), metaloides como el arsénico (As) y sustancias radiactivas como el uranio (U), lo que lo hace tóxico y susceptible de causar efectos dañinos para el medio ambiente y la salud humana. Una vez generado, el AMD se convierte en un motivo de gran preocupación para el medio ambiente y la salud humana, con ramificaciones en la economía (Azizi et al., 2024).

1.1.4 Categorías de drenajes de mina

Existe un análisis detallado de las condiciones físicas del entorno, el clima local y una evaluación de los efluentes de mina para determinar el tipo de drenaje. Para este proceso se realiza muestreos de agua y sedimentos, los cuales se someten a análisis para identificar las concentraciones de metales pesados. Además, se toma mediciones in situ de diversos parámetros como pH, contenido de oxígeno, potencial redox, conductividad, temperatura, hierro, acidez/alcalinidad, turbidez, entre otros parámetros (Acharya y Kharel, 2020).

Sin importar la fuente de origen de los drenajes de mina se clasifican en dos categorías principales:

- Drenajes alcalinos
- Drenajes ácidos

Tabla 1

Clasificación de las aguas residuales de mina

Clase	pH
Altamente ácidas	1,5 - 4,5
Ligero grado de acidez.	5,0 - 7,0
Neutras a alcalinas	7,0 - 8,5
Alcalinas, blandas	7,5 - 11,0
Muy salinas	6,0 - 9,0
Blandas ácidas	3,5 - 5,5

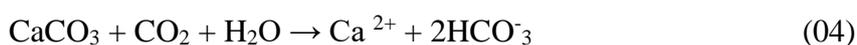
Nota. Vásquez et al. (2024).

El drenaje ácido de minas (AMD) surge debido a la oxidación de ciertos minerales sulfurosos (como la pirita, pirrotita, marcasita, entre otros) Cuando se encuentran en contacto con el oxígeno tanto en el aire como en el agua (Azzam et al., 2023).



1.1.5 Drenajes alcalinos

Las aguas alcalinas de acuerdo a las operaciones mineras surgen desde la superficie o acuíferos superiores atraviesan materiales compuestos principalmente de caliza y dolomita. La disolución del carbonato cálcico ocurre debido a la presencia de anhídrido carbónico en el agua, dando lugar a la siguiente reacción química (Boula et al., 2022).



1.1.6 Drenajes ácidos

Es ácido cuando los minerales se exceden a los alcalinos este proceso se debe a la oxidación de la pirita quien es el principal responsable de la acidez de las aguas de mina, se afirma que estas reacciones geoquímicas se aceleración por la presencia de aire que entra en contacto con los sulfuros. Por lo general tienen un valor de pH de 2 a 5, que contienen aniones y cationes en disolución de <1 a 100 mg/l predominando las concentraciones elevadas en Fe, Mn, y Al (Chai et al., 2020).

Tabla 2

Variaciones de acidez en drenajes de mina

Tipo	pH	Descripción
I	< 4.5	Alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, y otros metales. Alto contenido de oxígeno. Muy ácido (llamado Drenaje Ácido de Mina)
II	< 6.0	Alta cantidad de sólidos disueltos. Alta concentración de ion ferroso (Fe ²⁺) y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Por oxidación, el pH del agua baja drásticamente hasta convertirse en tipo I.
III	> 6.0	Moderada a alta cantidad de sólidos disueltos. Bajo a moderado contenido de ion ferroso (Fe ²⁺) y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Alta alcalinidad (llamado drenaje alcalino de mina). Por oxidación de metales la acidez generada es neutralizada por la alcalinidad presente en el agua.
IV	> 6.0	Alta cantidad de partículas disueltas. Drenaje neutralizado, pero todavía no se han fijado los hidróxidos en el agua. A mayor tiempo de residencia en las balsas mayor fijación de partículas y el agua puede llegar a ser similar al de Tipo V.
V	> 6.0	Agua del drenaje es neutralizado. Alta cantidad de sólidos disueltos. Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas. Cationes restantes son disueltos por Ca y Mn. Oxi-aniones solubles como bicarbonato y sulfato quedan en la solución.

Nota. Munyai et al. (2024).

1.1.7 Acidez de aguas de mina

La consecuencia más directa para la actividad minera, y la explotación de un yacimiento es la geo disponibilidad de materiales. Cabe destacar que muchos yacimientos minerales, particularmente los de menas sulfuradas, son fuentes naturales de contaminación ambiental. Esto depende de su ubicación de respecto al nivel freático, y su composición mineralógica (Thomas et al., 2024).



Caracterización de oxidación de un sulfuro en la generación de aguas acidas

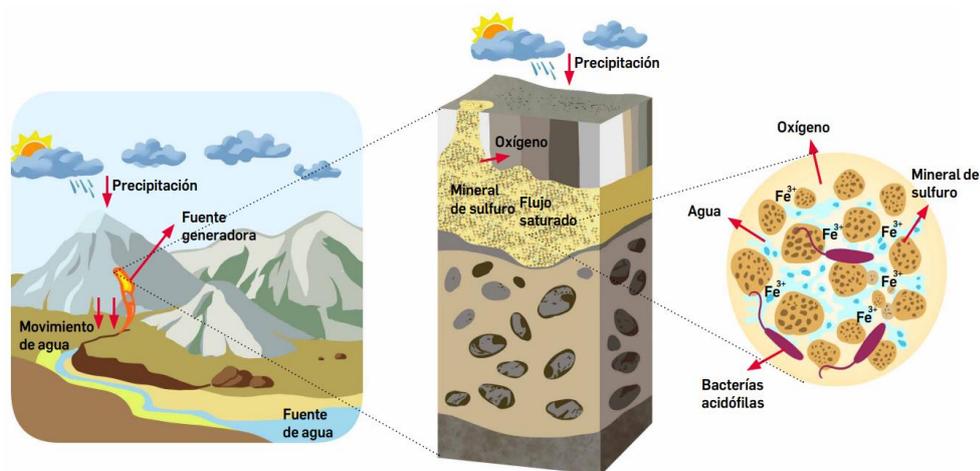
Estas transformaciones biológicas, químicas y físicas generan unos drenajes de minas que generalmente son ácidos y contienen concentraciones elevadas de Al, Fe, SO₄, Mn, Mg, Cu, Pb, As y Zn (Xu et al., 2022).

1.1.8 Metales asociados en la generación del drenaje ácido

Los metales pesados asociados en la generación del drenaje ácido, son elementos químicos que tienen una densidad mayor a 5 g/cm³, una masa atómica superior a los 22,99 g/mol del sodio y un número atómico mayor a 20. Podemos indicar que es importante destacar que estos elementos solo resultan tóxicos en determinadas formas químicas (Jiménez y Llanos, 2019), los principales metales pesados presentes son: plomo (Pb), el mercurio (Hg), cadmio (Cd) arsénico (As), aluminio (Al), zinc (Zn), manganeso (Mn) y hierro (Fe).

Figura 1.

Factores de afectan a la generación AMD temperatura, pH, Fe³⁺



Nota. Ramirez y Copa (2020).

1.1.9 Arcilla

Es una sustancia viva con una proliferación de bacterias patógenas o bacterias que son los cuerpos parasitarios, a su vez favorece una reconstitución celular. Actúa como un foco en las enfermedades, efectuando una limpieza profunda una de sus propiedades principales es de adsorción y captación de elementos nocivos para nuestra salud (Masindi et al., 2019).

1.1.10 Caolinita o chaco

El "chaco", es conocido en quechua y como "passa" en aymara, pertenece a una variedad de arcilla empleada desde la época precolombina para poder tratar los síntomas relacionados con enfermedades ácido-pépticas (Abaka et al., 2024). En la región del altiplano, se encuentran numerosos depósitos de esta variedad de arcilla, generalmente en las comunidades de Asillo, Azángaro, Tiquillaca y Ácora en la región Puno - Perú, así como en Achocalla, Andamarca y Mocomoco en Bolivia.

El "chaco" es una variedad de esmética dioctaédrica con carga tetraédrica, caracterizada por su capacidad para capturar o contrarrestar sustancias potencialmente nocivas como taninos y alcaloides.

Figura 2.

Caolinita chaco



Nota. Zunino et al. (2024).

La extracción se lleva a cabo en túneles con profundidades variables que van desde los 30 centímetros hasta los 5 metros, normalmente durante los meses de mayo a diciembre. Esta arcilla natural, sin ser sometida a procesos de purificación, experimenta un secado y se utiliza en la alimentación común como una pasta semisólida (Zunino et al., 2024).

Es una roca arcillosa “por la descomposición de las rocas madres cristalizadas como granito. Existen diferentes arcillas que están compuestas por silicato de aluminio hidratado donde se mezclan diferentes elementos minerales

que producen coloraciones de forma de oligometaloterapia. Su plasticidad y elasticidad provienen de las texturas de silicatos hidratados” (Ramirez y Copa, 2020).

La arcilla es una roca muy frágil e hidrófila esta es rica en minerales y oligoelementos, está dada por diferentes colores, es beneficiosa en terapéuticas en ciertas afecciones en asociación con otras terapias naturales.

1.1.11 Propiedades de la arcilla

El chaco actúa como un foco de la enfermedad y efectúa una limpieza completa evacuando elementos indeseables.

Por su gran poder de absorción neutraliza y drena las impurezas de los tejidos reteniendo los líquidos a su vez absorbe los malos olores y decolora. Permite también la fijación y neutralización de toxinas y alcaloides (Ramirez y Copa, 2020).

La radiactividad de la arcilla posee un regenerador a su vez absorbe las radiaciones negativas. La arcilla impide la proliferación microbiana y bacteriana reforzando los organismos hasta producir una revitalización (Ntwampe y Moothi, 2019).

1.1.12 Beneficios del chaco (caolinita)

- Problemas digestivos: Ayuda a tratar la gastritis y la acidez estomacal tiene un efecto protector que disminuye la gravedad de las lesiones en el estómago.
- Eliminación de sustancias tóxicas: Gracias a su habilidad para interactuar con compuestos orgánicos, tiene la capacidad de retener agua y toxinas, actuando como agente secuestrante.
- Fuente de nutrientes: Posee minerales esenciales para la salud, como el calcio, magnesio, hierro y zinc.

Tabla 3

Propiedades físicas del chaco

Propiedades físicas:	
Color:	Mayormente de color blanco, aunque ocasionalmente puede exhibir matices como tonalidades azuladas o amarillentas, entre otros.
Raya:	Blanca.
Brillo:	Mate térreo o nacarado cuando es cristalino.
Dureza:	2 a 2,5
Densidad:	2,56 g/cm ³
Otras:	Mineral con una textura suave y untuosa al tacto.

Nota. Acharya y Kharel (2020).

El caolín tiene la capacidad de funcionar como un agente alcalino neutralizante en aguas afectadas por el problema del drenaje ácido de minas. Su habilidad para contrarrestar la acidez es beneficiosa al elevar el nivel de pH del agua. Esta acción conlleva una disminución tanto en la toxicidad como en la capacidad de desplazamiento de los metales pesados que se encuentran disueltos en el agua contaminada.

1.1.13 Tipos de chaco

A. Arcilla verde

También conocido como bentonita o montmorillonita puede ser de color pardo o gris, es rica en magnesio contiene sosa, cal, potasio, silicio y fosfatos, óxidos como el hierro, aluminio, titanio, magnesio y manganeso (Merchichi et al., 2022).

B. La illita

Es una variedad muy cálcica y mínima en magnesio, se adhiere fácilmente a la piel, por su gran poder de adsorción se utiliza para la absorción de residuos e impurezas que sirve en la disminución de hinchazón de esguinces y luxaciones (Niskanen et al., 2022).

1.1.14 Arcilla blanca o caolinita

Es una arcilla en forma de leche por su fuerte poder cubriente, su acción antibacteriana, cicatrizante y antiinflamatoria se utiliza más como protectora de la mucosa gástrica quien acelera la cicatrización. Absorbe toxinas lo que le hace más beneficiosa ante la intoxicación alimentaria y la hinchazón del vientre. Ayuda también a combatir el estreñimiento y reducir el pH (Fikadu, 2022).

1.1.15 Arcilla roja

El color rojizo se debe a su mayor contenido de hidróxido de hierro y óxidos, y su contenido en silicatos de aluminio actúa como antiácido de acción local astringente, neutraliza la acidez gástrica y pudiendo eliminar pepsina, toxinas bacterianas y productos en putrefacción (Cánovas et al., 2022).

1.1.16 La palygorskita

Existe de una variedad blanca o verde que es muy utilizada por su fuerte potencial absorbente en las curas gástricas, colitis, gastritis y úlceras de estómago.



1.1.17 El pH

Representa el nivel de alcalinidad o acidez de una solución. Esta medida revela la cantidad de hidrógenos presentes en una disolución específica.

Figura 3.

Valoraciones de pH de agua



Nota. Hadi et al. (2024).

La medición del pH por sí sola no es adecuada para determinar la posible acidez en los drenajes de minas, ya que, aunque el pH esté cerca de la neutralidad, puede haber altas cantidades de Fe^{2+} que, al oxidarse e hidrolizarse, pueden generar acidez (Hadi et al., 2024).

1.1.18 Rocas sedimentarias

Se forman por acumulación de sedimentos a partir de partículas de diversos tamaños transportadas por los agentes como el agua, el hielo o el viento, que son sometidos a procesos físicos y químicos denominado (diagénesis) dando lugar a materiales consolidados (Rodríguez et al., 2020). El proceso de litificación. Los principales procesos de litificación se dan a partir de la cementación, la consolidación-deseccación y la cristalización. Los principales minerales que trabajan como agentes cementantes son la calcita y la dolomita. Estos minerales se disuelven en el agua, creando una solución que llena los intersticios del depósito (Buford Parks et al., 2023). Este proceso requiere un material poroso y permeable, por lo que es fundamental en la formación de areniscas, calizas y dolomías. Luego se genera el proceso de consolidación y deseccación no obstante en el caso de los depósitos de arena transportados por el viento, después de la evaporación se puede dar la litificación. Las arcillas a un km. de profundidad, por la presión confinante, pierden el 60% del volumen y dan paso a la formación de lutitas. – Cristalización (Bazan, 2020).

1.1.19 Metales pesados

Son elementos químicos que contienen una densidad relativamente alta y la mayoría de los casos presenta propiedades tóxicas para el organismo de los seres vivos la acumulación de estos metales pesados pueden tener efectos adversos en el medio ambiente y en la salud humana. Generalmente estos metales provienen por las actividades antropogénicas en las actividades industriales (Azzam et al., 2023).

Algunos metales pesados más importantes son:

1.1.20 Mercurio total (Hg)

Es un metal natural que podemos encontrar en la roca de la corteza terrestre, como también en los depósitos de carbón es líquido a una temperatura ambiente y puede traer efectos negativos en los organismos de los seres vivos existe unas formas diversas tales como:

- El metilmercurio y otros compuestos orgánicos de mercurio surgen mediante la combinación del mercurio con carbono. Proceso en el cual organismos microscópicos catalizan la transformación del mercurio en metilmercurio, siendo este último el compuesto de mercurio orgánico más prevalente en el entorno ambiental (Ntwampe y Moothi, 2019).
- El mercurio elemental o metálico es un metal brillante de color plateado que se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente. Se emplea en termómetros antiguos, lámparas fluorescentes y algunos interruptores eléctricos. Cuando se derrama, el mercurio elemental se fragmenta en pequeñas gotas que pueden penetrar en grietas o adherirse firmemente a ciertos materiales. A temperatura ambiente, el mercurio elemental expuesto tiene la capacidad de evaporarse, convirtiéndose en un vapor tóxico invisible e inodoro. Al ser sometido a calor, se transforma en un gas incoloro e inodoro (Hansson et al., 2023).
- El mercurio elemental es un elemento que se encuentra en un estado no reactivo con otras sustancias. Al interactuar con otra sustancia, el mercurio da origen a la formación de un compuesto (Boula et al., 2022).

1.1.21 Consecuencias en la salud humana

La Organización Mundial de la Salud publica brinda datos sobre las consecuencias sanitarias sobre las diversas formas de uso de mercurio destacando la que el mercurio elemental y el metilmercurio afecta directamente al sistema nervioso central y periférico, siendo perjudicial también en el aparato digestivo, los pulmones y los riñones (Biamont, 2022).

En mina, tras la excesiva inhalación de distintos compuestos de mercurio puede contraer trastornos neurológicos y efectos neuromusculares siendo los

síntomas más comunes insomnio, pérdida de memoria, disfunciones cognitivas y motoras (N. C. Muñoz et al., 2023).

1.1.22 Arsénico

El arsénico es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es As y el número atómico 33. Raramente se presenta de forma sólida, aunque pertenece al grupo de los semimetales, ya que muestra propiedades metálicas y no metálicas (Thomas et al., 2024).

Presenta tres estados alotrópicos, gris metálico, amarillo y negro.

El arsénico gris metálico (forma α) es la forma estable en condiciones normales, tiene estructura romboédrica y es un buen conductor del calor, pero pobre conductor eléctrico. Es una sustancia deleznable que pierde el lustre metálico cuando se expone al aire (Bernal et al., 2019).

El arsénico amarillo (forma γ) se obtiene cuando el vapor de arsénico se enfría rápidamente. Se trata de un compuesto extremadamente volátil y más reactivo que el arsénico metálico, presentando fosforescencia a temperatura ambiente.

Una tercera forma alotrópica, es el arsénico negro (forma β) que presenta una estructura hexagonal y tiene propiedades intermedias entre las formas alotrópicas anteriormente descritas. Se obtiene en la descomposición térmica de la arcina, o bien enfriando lentamente el vapor de arsénico (Vargas et al., 2021).

Tabla 4

Propiedades físicas del arsénico

Características	Unidades
Fórmula química	As
Número atómico	33
Masa atómica	74,99 g/mol
Potencial primero de ionización	10,08 e.v
Densidad	5,72 g/mol
Punto de ebullición	613°C
Punto de fusión	817°C

Nota. Bernal et al. (2019).

1.1.23 Impactos en la salud humana y el medio ambiente

El arsénico se destaca como uno de los elementos más perjudiciales presentes en la naturaleza y los seres humanos pueden estar expuestos a él a través de la ingesta de alimentos, agua y la inhalación del aire. La exposición al arsénico inorgánico puede desencadenar una serie de impactos en la salud, incluyendo irritación en el tracto gastrointestinal, reducción en la producción de células sanguíneas, alteraciones cutáneas y afecciones respiratorias (Du et al., 2022).

La ingesta elevada de arsénico aumenta significativamente el riesgo de desarrollar diversos tipos de cáncer, como el de piel, pulmón, hígado y sistema linfático. En casos de exposición extrema al arsénico inorgánico, se ha observado que puede ocasionar problemas de fertilidad y abortos en mujeres, trastornos cutáneos, debilitamiento de las defensas ante infecciones, afectaciones cardíacas, daño cerebral tanto en hombres como en mujeres, así como provocar daños en el material genético (ADN) (Habib et al., 2024).

Es importante señalar que el arsénico orgánico no está asociado con la inducción de cáncer ni con daños al ADN. Sin embargo, exposiciones a dosis elevadas de arsénico orgánico pueden dar lugar a efectos específicos en la salud humana, como lesiones en el sistema nervioso y malestares estomacales (kaur et al., 2024).

En lo que respecta a su impacto ambiental, la existencia de arsénico inorgánico en el suelo y en cuerpos de agua superficiales incrementa la probabilidad de causar cambios en el material genético de los peces.

1.1.24 Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal pesado que se encuentra en el entorno, ya sea en el agua, el aire o el suelo, debido tanto a procesos naturales como a actividades industriales y agrícolas. Este metal tiene la capacidad de acumularse en cultivos, organismos terrestres y acuáticos. En consecuencia, puede ingresar al organismo humano mediante la ingestión de alimentos como pescado, mariscos, carne y vegetales que contengan concentraciones elevadas de cadmio (Yang et al., 2022).

El cadmio exhibe propiedades químicas que se encuentran en un punto intermedio entre las del zinc metálico cuando está en soluciones ácidas de sulfato. Es una sustancia altamente tóxica y en todos sus compuestos estables, se presenta como divalente, mostrando un ión (Zn^{+2}) incoloro (An et al., 2024).

Tabla 5

Propiedades físicas del cadmio

Características	Unidades
Fórmula química	Cd
Número atómico	112,4 g/mol
Solubilidad en agua	Ninguna
Densidad	8,6 g/mol
Punto de ebullición	765°C
Punto de fusión	321°C

Nota. Bernal et al. (2019).

Efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.

- Episodios de diarrea, intensos dolores estomacales y vómitos severos.
- Fracturas óseas.
- Problemas en la reproducción, incluyendo riesgo de infertilidad.
- Afectaciones al sistema nervioso central.
- Compromiso del sistema inmunológico.
- Trastornos psicológicos.
- Posibilidad de daño en la información genética (ADN) y desarrollo de cáncer.

En cuanto a su impacto en el entorno, el cadmio tiende a ser fuertemente retenido por la materia orgánica presente en el suelo. En suelos con acidez elevada, se observa un incremento en la absorción de cadmio por parte de las plantas, lo que representa un riesgo potencial para los animales que dependen de estas plantas para su supervivencia. Las lombrices y otros organismos fundamentales para la salud del suelo son particularmente susceptibles a la intoxicación por cadmio, pudiendo fallecer incluso a concentraciones mínimas, lo cual afecta la estructura del suelo. En situaciones donde las concentraciones de

cadmio en el suelo son elevadas, se produce una alteración en los procesos microbiológicos del suelo, comprometiendo el funcionamiento adecuado del entorno (Mutlu et al., 2024).

En el medio marino, el cadmio puede acumularse en moluscos, ostras, crustáceos y peces. La susceptibilidad al cadmio varía considerablemente entre estos organismos, siendo los de agua salada más resistentes a la intoxicación en comparación con los de agua dulce.

1.1.25 Plomo

El plomo, un metal pesado de tonalidad azulada, desarrolla una pátina que le confiere un tono gris mate. Es maleable, poco elástico y tiene un punto de fusión bajo, alcanzando los 327,4°C. Muestra una relativa resistencia a la acción del ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve lentamente en ácido nítrico. Exhibe propiedades anfóteras, es decir, reacciona tanto con ácidos para formar sales ácidas, como con bases para originar sales metálicas y óxidos (Raj y Das, 2023).

Tabla 6

Propiedades físicas del plomo

Características	Unidades
Fórmula química	Pb
Número atómico	207,2 g/mol
Solubilidad en agua	Ninguna
Densidad	11,34 g/mol
Punto de ebullición	1740 °C
Punto de fusión	327,5 °C

Nota. Nduka et al. (2023).

Efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.

- Aumento en la presión arterial o taquicardia.
- Afectación de los riñones y del sistema urinario.
- Posibilidad de abortos y abortos leves.
- Trastorno en el sistema nervioso.
- Lesiones cerebrales.

- Reducción de la fertilidad masculina a través del daño en el espermatozoides y en la capacidad eréctil.
- Menor capacidad de aprendizaje en niños.
- Cambios en el comportamiento infantil, como agresividad, impulsividad, hipersensibilidad, euforia e hiperactividad.
- En niños pequeños, se pueden observar dificultades en la coordinación y en la comprensión de la información, llegando incluso a un retardo mental severo.
- En fetos, existe la posibilidad de ocasionar mutaciones, tanto leves como graves.

El plomo tiene la capacidad de ingresar al feto a través de la placenta materna, lo que puede resultar en daños significativos al sistema nervioso, al sistema reproductor y al cerebro de los recién nacidos. En términos de su impacto ambiental, aunque el plomo existe de manera natural en el entorno, las concentraciones más altas son consecuencia de las actividades humanas (Gržinić et al., 2023).

Las sales de plomo son liberadas al medio ambiente principalmente a través de los escapes de los vehículos, donde las partículas más grandes se depositan en el suelo y en cuerpos de agua, acumulándose en organismos tanto acuáticos como terrestres y eventualmente llegando a los seres humanos a través de la cadena alimentaria. Las partículas más pequeñas permanecen suspendidas en la atmósfera y pueden llegar al suelo y al agua mediante la lluvia (Ma et al., 2023).

La acumulación de plomo en los animales puede tener consecuencias graves, causando envenenamiento e incluso la muerte. Algunos organismos, como los crustáceos, son particularmente sensibles al plomo y pueden fallecer en concentraciones muy bajas.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Internacionales

Măicăneanu et al. (2019) los investigadores identificaron la existencia de metales pesados en los drenajes ácidos de minas (AMD) de las minas cerradas de

Hanes β y Valea Vinului (Rumania). Aplicaron la metodología desde la recolección de muestras de agua, midieron los parámetros físico-químicos (pH, sólidos totales, concentración de iones de metales pesados) demostraron que el medio ambiente se ve fuertemente afectado por estos vertidos de AMD. Como resultado, el Fe, Mg y el Zn fueron los principales contaminantes identificados en el AMD, mientras que el zinc es el que está principalmente presente en el caso del AMD de Valea Vinului. Se propuso como técnica de remediación pasiva una técnica por lotes (sin agitación) en la que el ZVT se ponía en contacto con la muestra de AMD. En conclusión, los ZVT elimina con éxito iones de metales pesados de AMD según las concentraciones de iones de metales pesados, las eficiencias de eliminación alcanzan el 100%.

Masindi et al. (2019) para los investigadores el drenaje ácido de mina (AMD) puede causar impactos ecológicos de los ecosistemas terrestres y acuáticos para sustentar la vida. Utilizaron una metodología que consistió en esquematizar un compuesto de arcilla criptocristalina de magnesita y bentonita mediante activación mecanoquímica y evaluar su adsorbente para la neutralización y disminución de contaminantes inorgánicos en drenajes de minas ácidos y metalíferos. Como resultado, el compuesto mezclado con AMD provocó un aumento del pH ($\text{pH} > 11$) y una disminución de las concentraciones de metal. La eliminación de especies químicas fue óptima a los 20 min de equilibrio y 1 g de dosis. El compuesto eliminó $\approx 99\%$ (Al^{3+} , Fe^{3+} y Mn^{2+}) y $\approx 90\%$ (SO_4^{2-}) del efluente minero crudo. Concluyeron que el compuesto tiene el potencial de neutralizar la acidez y atenuar especies químicas potencialmente tóxicas del drenaje minero ácido y metalífero.

Aguirre et al. (2019) su estudio consistió en evaluar la eficacia de algunas sustancias de Moringa, Cactus y maíz en el lugar de Magdalena la metodología que ha utilizado es la prueba de jarras, determinaron unas dosis ideales de coagulantes donde se midieron tiempo y velocidad de floculación con sulfato de aluminio de 0,02 gr/L como grupo de control. Sus resultados indicaron que Moringa (2gr/l) logró una reducción del 96,8% en turbidez y del 97,8% en color, en comparación con el control que alcanzó el 95,7% y el 96,5%, respectivamente. En conclusión, respaldan la viabilidad de emplear sustancias naturales como una

alternativa accesible y sostenible para la potabilización del agua del río Magdalena.

Moodley et al. (2019) el drenaje ácido de mina (AMD) es un problema ambiental importante y lo sigue siendo a pesar de la disponibilidad de una amplia gama de técnicas y tecnologías de remediación. Mediante varios métodos utilizados para remediar la DMAE pudieron aumentar el pH con el contacto de la roca caliza propio tratamiento de la DMAE. Como resultado demostraron que los materiales de estas industrias reducen o eliminan algunos de los inconvenientes de las técnicas y tecnologías convencionales, como la neutralización con cal, la pasivación, la remediación biológica in situ, el relleno, las cubiertas de montones de desechos. En conclusión, presenta una descripción de AMD y analiza los desarrollos de indagación sobre diversos materiales de desecho o subproductos de otras industrias que se han aplicado con éxito para remediar AMD.

Liu et al. (2019) los autores identificaron minerales precipitados formados relacionados con el drenaje ácido de mina (AMD). Mediante la metodología de la difracción de rayos X, la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier y el microscopio electrónico de barrido y espectrómetro de energía se han utilizado para detectar minerales en embalses de AMD, identificaron las especies mineralógicas y las características micromorfológicas de minerales secundarios en diferentes condiciones de pH. Como resultado, la jarosita predomina en forma de cristales pseudocúbicos a un pH de 2,5 a 4,0. Los sedimentos ricos en schertmannita se produjeron a un pH de 3,82 a 4,5 y muestran altas concentraciones de Mn, Cu, Pb y As debido a la adsorción y la coprecipitación. En conclusión, los minerales secundarios asociados con la DMAE pueden desempeñar un papel importante en la atenuación de elementos tóxicos.

Acharya y Kharel (2020) los investigadores determinaron que las principales fuentes de AMD incluyen la escorrentía y la filtración de los vertederos de rocas de las minas, la metodología que emplearon incluyó el uso de vehículos aéreos no tripulados e imágenes hiperespectrales para investigaciones hidrogeoquímicas. Como resultado indican que el tratamiento efectivo del drenaje ácido de las áreas mineras reduce el daño material, permite la reutilización y recuperación de recursos y permite un uso exitoso de la tierra

después de la mina. En conclusión, los planes de minería y tratamiento pueden variar según la historia del uso de la tierra, el clima, la topografía, la hidrogeología, las compañías mineras deben priorizar la formación de asociaciones multidisciplinarias, abogar por políticas efectivas. hacer cumplir las normas de descarga, fomentar la vinculación de desempeño y formular planes de remediación.

Chai et al. (2020) los investigadores indicaron que el agua ácida generada a partir del agua de drenaje de las minas de carbón fue objeto de investigación, mediante la metodología aplicada, estudiaron los efectos de importantes factores operativos (como el tamaño de las partículas, el pH inicial, la tasa de aireación y la tasa de flujo) para neutralizar la acidez y eliminar contaminantes de los efluentes mineros reales. Sus resultados, muestran que el proceso de contacto con la dolomita logró buenos resultados, por otro lado, la tasa de consumo de neutralización confirmó que es al menos 3 veces más lenta a comparación de la caliza. En conclusión, podrían lograr una importante reducción de costos sustituyendo el proceso de piedra caliza por el proceso de lecho filtrante de oxidación y aireación de dolomita, y tiene un buen rendimiento en la aplicación de ingeniería.

Chen et al. (2020) los autores desarrollaron un sistema de tratamiento pasivo a escala piloto para la biorremediación in situ del drenaje ácido de mina (AMD), mediante la metodología microbiana y su variación demostraron que el sistema podía eliminar el 93,7% del Fe soluble total y el 99% del Fe (II) soluble. Sus resultados del análisis de correlación canónica (ACC) indicó que el pH, el contenido de hierro y el azufre total determinaron conjuntamente la composición de las comunidades microbianas, enriquecieron altamente especies de *Ferrovum*, *Delftia*, *Acinetobacter*, *Metallibacterium*, *Acidibacter* y *Acidiphilium*, lo que favoreció la eliminación del hierro. En conclusión, revelaron datos importantes para el acoplamiento biogeoquímico de comunidades microbianas y parámetros ambientales.

Dutta et al. (2020) según los investigadores, la minería causa drenaje ácido de mina (AMD) por la oxidación de piritas y otros minerales que contienen azufre, mediante métodos de laboratorio y herramientas instrumentales sofisticadas.

Como resultado del estudio sus muestras tienen una alta conductividad que varía entre (1,30–2,49 cm/L) con un alto total de sólidos disueltos (1068-1339 ppm) que pueden cambiar la composición iónica del agua, han descubierto que el nivel de concentración de oligoelementos es superior al límite permitido durante la temporada de los monzones. En el estudio actual se llevó a cabo un proceso simple de remediación de AMD en laboratorio utilizando piedra caliza pulverizada segregada por tamaño y el proceso revela la disminución en las concentraciones elementales de agua de AMD. En conclusión, su estudio será útil para desarrollar una técnica de remediación para minimizar los niveles de concentración de elementos iones peligrosos en el agua de AMD.

Rambabu et al. (2020) para los investigadores la formación de drenaje ácido de mina (AMD) es un problema ambiental. Mediante la metodología de remediación incluyeron tratamientos biológicos activos y pasivos. Sus resultados indicaron que las bacterias reductoras de sulfato (SRB) eliminaron el sulfato y los metales pesados para generar corrientes no tóxicas, además los sistemas pasivos son económicos de operar, pero conllevan inconvenientes fundamentales, como grandes necesidades de terreno y un período de tratamiento prolongado. Concluyeron que los biorreactores activos ofrecen una mayor previsibilidad operativa y un tiempo de tratamiento más rápido, pero requieren mayores costos de inversión y su uso a gran escala está limitado por la falta de experiencia. Los avances recientes incluyen el uso de materias primas renovables para fines de limpieza de AMD, lo que probablemente permitirá lograr soluciones de mitigación mucho más ecológicas.

Rezaie y Anderson (2020) el (DMA) causado por minas abandonadas es de impacto negativo para el medio ambiente y las especies que lo habitan. Mediante metodologías de tratamientos para reducir el impacto negativo de la DMAE y muchas soluciones son muy costosas y sólo son adecuadas para situaciones particulares de proyectos. Como resultado de su trabajo proponen tres soluciones sostenibles más para reducir el impacto de AMD con menos inversión de capital y resolver los problemas de los vertederos, además, resolver el problema de AMD a través de ideas innovadoras. Concluyeron que, mediante la implementación de estrategias, así como una mayor participación de las comunidades pueden mejorar la sostenibilidad de la vida expuesta a la DMAE.

Silva et al. (2021) los investigadores hacen referencia sobre el drenaje ácido de mina (DAM), la composición ácida y de iones metálicos requiere un tratamiento adecuado para su eliminación. La metodología que utilizaron fueron mediante los parámetros pH, conductividad eléctrica, acidez total, alcalinidad total y concentraciones de iones de aluminio, hierro y manganeso. Sus resultados indican que aumento el pH de 3,3 a 7,9 y 7,6 incrementó los niveles de alcalinidad de 0 mgCaCO₃, mgCaCO₃. Los resultados de su estudio revelan formas de transformar los sistemas de tratamiento pasivo utilizando lechos de piedra caliza y materiales no convencionales como las zeolitas, combinar mecanismos de neutralización y adsorción en una misma operación, garantizar un sistema operativo y de mantenimiento simple y mejorar la sostenibilidad económica y ambiental de los procesos relacionados.

Cravotta (2021) el investigador ha identificado problemas del drenaje de mina (AMD). Utilizando la metodología de modelos de especiación superficial y acuosa de equilibrio modelos cinéticos para la entrada y salida, la oxidación y precipitación de hierro y manganeso, la disolución de piedra caliza y la oxidación de carbono orgánico combinada con reducción de nitrato, sulfato y hierro férrico, sus resultados indican los cambios en el pH, metales y otras concentraciones de solutos, sólidos disueltos totales y conductancia específica del efluente tratado más la cantidad acumulada de sólidos precipitados en función del tiempo. Concluye que, se pueden identificar varias estrategias de tratamiento pasivo y/o activo que potencialmente podrían lograr la calidad deseada del efluente.

Moreroa et al. (2022) la falta de acceso al agua potable es una crisis global, investigaron la eliminación de iones sulfato del (AMD) utilizando atapulgita modificada mediante electrolito (BaCl₂) y dos tensioactivos. Utilizaron la metodología de un microscopio electrónico de barrido (SEM), patrones de difracción de rayos X (DRX) y un espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) para analizar y validar las arcillas de atapulgita modificada con BaCl₂ con una carga del 10% (m/v), con una recuperación de iones del 69 y 16%, a una carga sólida del 200% (m/v). Sus resultados sugieren que BaCl₂ fue el surfactante iónico más eficaz cuando se usó para modificar la arcilla de atapulgita para la eliminación de iones sulfato. Cuando la temperatura de reacción se aumentó a 35 °C y 45 °C, la eliminación de iones sulfato se redujo a 66 y 64%,

así mismo, el aumento de la temperatura tiene un impacto negativo en la eliminación de iones sulfato. La energía de activación de 23,7 kJ/mol fue el método principal de eliminación de sulfato. En conclusión, demostraron que la arcilla de atapulgita modificada con BaCl₂ era un buen adsorbente para la adsorción eficiente de iones sulfato de AMD.

Xu et al. (2022) en su estudio, realizaron el tratamiento del drenaje ácido de minas y la eliminación de manganeso (Mn). Utilizaron el método de comparación y formación de precipitados que contienen Mn bajo condiciones de aireación y agitación mecánica. Sus resultados indican el contenido de Mn₃O₄ en el precipitado se incrementa en condiciones de aireación de 71,9% a una velocidad de 66,90 L/min. Su contenido disminuyó a 54,0% cuando la tasa de aireación se incrementó a 133,80 L/min. Sus imágenes de microscopía revelaron que la rodocrosita laminar generada (MnCO₃) y podría envolver MnOx y dificultar la formación de Mn₃O₄, en condiciones ácidas se formó MnO₂ y con un aumento del nivel de pH aparecieron Mn₃O₄ y Mn₂O₃. En conclusión, los óxidos de Mn (III) y Mn (IV) son intermedios que se convirtieron en óxidos de manganeso de baja valencia mediante autocatálisis.

Merchichi et al. (2022) los investigadores realizaron pruebas de laboratorio por lotes utilizando las principales litologías esperadas de materiales fosfatados en contacto con AMD sintético, que tenían un pH bajo (3,08) y contenían altas concentraciones de Fe (600 mg/L), Mn (40 mg/L), Mg (10 mg/L), Zn (20 mg/L), Cu (25 mg/L), As (50 mg/L) y sulfato (3700 mg/L), utilizaron materiales fosfatados como drenaje de caliza para evaluar el aumento del pH del AMD y la remoción de metales mediante mecanismos de sorción y precipitación. Sus resultados expusieron todas las litologías fosfatadas, el pH aumentó rápidamente de 3,08 a 8,47 durante las interacciones agua-caliza. En conclusión, el uso de estos desechos mineros para el tratamiento pasivo de AMD permitiría el desarrollo de estrategias de gestión integrada para estos materiales residuales en el contexto del desarrollo sostenible de la minería de fosfatos.

Azzam et al. (2023) los investigadores determinaron mediante el método basado en digestión por microondas y iCAP QICP-MS para la determinación de metales potenciales alcalinos Na, Mg y metales pesados As, Pb, Cd, Co, Zn y Cu,

en agua potable de diversas marcas y orígenes, como resultado el sistema ha proporcionado excelentes condiciones de calidad, como resultado, BDW produjo valores de toxicidad más bajos que TW (alto riesgo), en conclusión sus investigaciones actuales han explorado los posibles impactos del aumento progresivo del consumo de agua potable, especialmente en Arabia Saudita. Hasta el momento, los niveles de metales pesados potenciales en dichas aguas presentan valores de toxicidad predominantemente más altos en TW.

An et al. (2024) para los investigadores, China enfrenta grave escases de agua por la producción de recursos minerales de 100 millones de toneladas por las altas concentraciones de Pb y Cd en el drenaje ácido de las minas (AMD), para las concentraciones de iones de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}) utilizaron el método de espectrómetro de absorción atómica (GB 7475-87). Las longitudes de onda utilizadas para el análisis de Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} y Cu^{2+} fueron 283,3, 228,8, 213,8 y 324,7 nm, respectivamente. Sus resultados mostraron el OSL-G podría tratar eficazmente la DMAE con un pH de 4 ~ 5 y concentraciones iniciales de Pb^{2+} y Cd^{2+} de 10 mg/L en 600 minutos a una dosis de 4 g/L. En conclusión, su estudio sugirió que OSL-G puede utilizarse como un adsorbente para la DMAE.

Azizi et al. (2024) los investigadores identificaron el problema de aguas acidas de mina, exploraron el tratamiento de la DMAE y la recuperación de especies químicas mediante precipitación selectiva utilizando óxido de magnesio (MgO). Mediante el método desde la recolección de datos de campo para los parámetros fisicoquímicos utilizando HANNA HI98194, para el experimento se utilizó un litro y medio (1500 ml) de AMD de una mina. El pH del agua AMD se incrementó gradualmente utilizando un agitador superior y se recuperaron especies químicas en diferentes gradientes de pH mediante una técnica de precipitación secuencial. Sus resultados revelaron que se recuperó Fe (III) en un intervalo de pH de 2,9 a 4, Al a $pH \geq 4$, Cu a $pH \geq 6,5$, yeso en un intervalo de pH de 2,9 a 9,5, Fe (II) a $pH \geq 7,5$, Mn, Ni y Zn $pH \geq 8$. En conclusión, eliminaron los contaminantes inorgánicos en el siguiente orden: Cu (100%) = Ni (100%) \geq Fe (99,9%) \geq Al (99%) \geq Mn (98,6%) \geq Zn (97,2%) \geq SO_4^{2-} (76%).

Munyai et al. (2024) para los autores, la escasez de agua se ha convertido en un importante desafío mundial, su trabajo utilizó secuenciación de Illumina de alto rendimiento y perfiles metagenómicos predictivos para investigar el impacto del riego con AMD no tratado, cal viva (A1Q y A2Q) y agua AMD tratada con cal viva y cenizas volantes (AFQ) en la diversidad bacteriana del suelo. Sus resultados revelaron que el agua AMD no tratada aumentó significativamente la acidez del suelo, la conductividad eléctrica (CE), el sulfato (SO_4^{2-}), y metales pesados, incluida la diversidad microbiana reducida, redes de interacción interrumpidas y capacidad funcional. Identificaron el pH, la CE, el Cu y el Pb como factores ambientales clave que dan forma a la diversidad y estructura microbiana del suelo. En conclusión, los tratamientos con cal viva y cenizas volantes pueden ayudar a disminuir los impactos del agua AMD en el microbioma y la salud del suelo, lo que sugiere su potencial para la agricultura de regadío en regiones con escasez de agua.

1.2.2 Nacionales

Vargas et al. (2021) en su estudio menciona que las aguas acidas de mina son un problema que se manifiesta mediante los metales pesados, su objetivo fue comparar métodos de tratamiento para mejorar la calidad de agua, mediante la metodología desde la recolección de información de distintos autores que comprenden en el tratamiento de aguas acidas y métodos que corresponden en la neutralización y captación de metales pesados como la fitorremediación entre otros. Como resultado obtuvo que el tratamiento con calizas es un método eficaz para neutralizar el pH del agua de 4 – 6,5. Concluyeron que, existe un método pasivo y activo para el tratamiento de las aguas acidas, siendo más rentable el tratamiento pasivo que proporciona un entorno medio ambiental y económico.

Bazan (2020) en su trabajo de investigación hace mención sobre el problema que ocasiona las aguas acidas de mina, su objetivo fue evaluar la eficiencia de canales con dos diámetros de roca caliza en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas del río Negro. Mediante el método cuantitativa y explicativa; con un diseño de investigación experimental y de corte longitudinal, instaló dos sistemas de canales con lechos de $\varnothing=1/2''$ y de $\varnothing=1''$ durante 8 semanas. Sus resultados revelaron un aumento de pH entre 3 y

3,47 respectivamente, el canal de $\varnothing=1/2"$ demostró una eficiencia en la octava semana, el Anova demostró que no existe diferencias significativas. Concluyo que, la roca caliza es un buen neutralizador de pH y se puede utilizar en el tratamiento de aguas acidas de mina.

1.2.3 Locales

Huaman (2019) en su estudio hace mención sobre la problemática en aguas manantiales con problemas de acidez de la provincia de Lampa de la Región Puno, con pH igual a 4,1. Mediante la metodología que consistió en recolectar la muestra de agua del manantial, utilizó un medidor de pH (pH-metro) HANNA HI 9828. Su objetivo fue conocer valores de pH aplicando un sistema de neutralización con roca caliza de 1", 2", y 3", como resultado demostró que a una granulometría de 2" logró neutralizar desde el primer día de experimentación, iniciando con un valor de pH igual a 4,1 hasta los valores de 6,51, 6,96, 7,22, 7,28, 7,30, 7,34, 7,39 y 7,42 durante 8 semanas respectivamente, mientras 1" y 3" no fue adecuado en la neutralización. Concluyo que, las rocas calizas a un diámetro de 2" se puede utilizar en la neutralización de aguas acidas y podrían ser económicas ya que son eficaces para este proceso.

Mamani (2019) identificó problemas de los efluentes de aguas de mina de la mina la Rinconada, donde es directamente vertido hacia la cabecera del río Ramis, su objetivo fue evaluar la caracterización y el diseño de tratamiento de aguas ácidas. Utilizó métodos desde "la caracterización físico y química, y para el tratamiento se trabajó con el método activo de neutralización - precipitación con cal como agente neutralizante, realizados en el laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas – UNAP", utilizó muestras de 500 ml de agua con un pH de 3,38 y concentraciones de metales pesados como Cu, Fe, Al, Zn, Ni y Mn. Como resultado el pH incrementó de 6,5 y 8,5 durante 5 a 10 minutos. Concluyó que el tratamiento de aguas acidas con cal es eficaz para neutralizar la acidez y precipitación de los metales pesados disueltos como: Fe 93,84 %, Cu 80,95 %, Al 99,37 %, Zn 86,88 %, Ni 10,3 % y Mn en 95,55 %, con una dosis de 0,4 g de cal por litro de agua ácida.

Huisa (2023) identificó problemas de drenaje ácido de mina en la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales. Su objetivo fue determinar la eficacia con



granulometrías de $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$ pulgadas de roca caliza, las características y concentración de parámetros fisicoquímicos de aguas ácidas de mina. Los métodos que utilizó fueron; (ISO 5667-10), (EPA) OMS, para la concentración de metales se utilizó espectrofotómetro de emisión atómica, mediante un plasma microondas 4210 MP-AES, realizo en el laboratorio de la FIM de la UNA-Puno. Como resultados obtuvo; parámetros fisicoquímicos de OD, conductividad eléctrica 1763 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), potencial de oxidación y reducción 45,2 (mV) ORP, solidos totales disueltos 845 (ppm) Tds. Así mismo concluyó que, el mejor reactor fue de 1 pulgada, reduciendo Fe de 30,77 a 9,69, As de 0,013 a 0,011, Cu de 18,46 a 17,21, el zinc de 3,86 a 1,31, el plomo de 0,11 incrementó a 0,61 ppm respectivamente.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

Las contaminaciones ambientales producto de la minería son significativas, esto incluye las aguas superficiales y subterráneas, como también la variación de los paisajes naturales. Ocurre cuando los minerales sulfurosos como la pirita (sulfuro de hierro) entra en contacto con el oxígeno y el agua a través de reacciones químicas formando ácido sulfúrico.

En el país se tiene registrado más de 8 500 pasivos ambientales producto de la minería, el Perú desde la época incaica producía minerales de todo tipo, con la llegada de los españoles se explotaron y no se remediaron los pasivos ambientales, luego de eso las empresas mineras en el país explotó en diferentes lugares en la década del terrorismo entre (1980 - 1990) las empresas abandonaron las operaciones sin realizar el cierre de mina respectivo por lo que en la actualidad se puede evidenciar los pasivos ambientales. Las leyes respecto a la minería fueron muy débiles donde no se consideraba mitigar los daños al medio ambiente.

En la SMRL Acumulación Los Rosales específicamente en la bocamina principal se observa la salida de aguas acidas que son evacuadas directamente en la cuenca de la laguna Umayo, durante el curso del agua se observa la coloración amarillenta que deja en las paredes del canal de evacuación de estas aguas.

En las partes bajas existen pobladores que consumen directa e indirectamente el agua, esto incluye a los animales que a través de los pastizales que consumen se genere la transmisión de metales pesados producto de las aguas acidas que tiene contacto con su alimentación.

Para el problema de las aguas acidas se puede utilizar la caolinita, una arcilla rica en minerales, puede ser utilizado para el tratamiento del drenaje ácido de mina (AMD) debido a sus propiedades adsorbentes y neutralizadoras. Mediante ensayos de laboratorio para entender mejor la capacidad de la caolinita para adsorber diferentes metales y su eficiencia en distintas condiciones de pH y contaminantes (Cánovas et al., 2022). Otra

alternativa de solución sería la fitorremediación, mediante la utilización de especies de plantas nativas que absorben metales pesados (Pastor, 2023).

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Problema general

- ¿Cuál será el efecto de la caolinita “Chaco” en la remediación del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Como será el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”?
- ¿Cuál será la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno?

2.3 Justificación

La ejecución de este trabajo de investigación es importante, ya que permite evaluar los impactos que generan los drenajes de aguas acidas de mina la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno, con la finalidad de reducir los daños ocasionados a los ecosistemas, a la biodiversidad, a la comunidad del entorno y a la microcuenca de Umayo así como a las aguas subterráneas y superficiales. Se destaca la presencia de caolinita, conocida como "Chaco" en el altiplano peruano, planteándola como una opción ecológica para remediar los cuerpos de agua afectados por la acidez minera, sin causar perjuicios al medio ambiente.

La propuesta de este trabajo de investigación consiste en realizar la extracción de esta arcilla por parte de las comunidades locales, permitiendo a la empresa minera adquirirla, en este caso, la caolinita "Chaco", como medio para mantener relaciones comunitarias positivas y generar empleo de manera indirecta, así mismo al medio ambiente. Este enfoque se enmarca en la idea de impulsar una solución ecológica y sostenible a los problemas ambientales asociados con la actividad minera.

El trabajo de investigación se justifica en el marco de la oferta académica de la Escuela de Posgrado de la UNA-Puno, específicamente en el ámbito del doctorado en

Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La responsabilidad asumida es la generación de conocimientos que puedan aportar a la resolución de problemas ambientales y particularmente los relacionados con el drenaje ácido de mina. La justificación responde a las interrogantes propuestas, destacando razones personales, institucionales y la necesidad de atender las demandas de la población. Se busca contribuir a llenar vacíos de conocimiento y proponer distintas alternativas que puedan abordar eficazmente el problema en cuestión, integrándose de una manera positiva en las áreas, líneas y temas de investigación pertinentes.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

- Determinar el efecto de la caolinita “Chaco” en la remediación del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno.

2.4.2 Objetivos específicos

- Comparar el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”.
- Determinar la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

- Existe el efecto positivo de la caolinita “Chaco” en la remediación del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno.

2.5.2 Hipótesis específicas

- El comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos varían antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”.
- La concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” interviene en el aumento de pH del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

3.1.1 Ubicación del proyecto

El lugar de investigación está localizada al sur del país, políticamente pertenece al departamento, provincia de Puno y distrito de Vilque, sus coordenadas se registran en el sistema WGS-84 Zona 19 Sur (tabla 7).

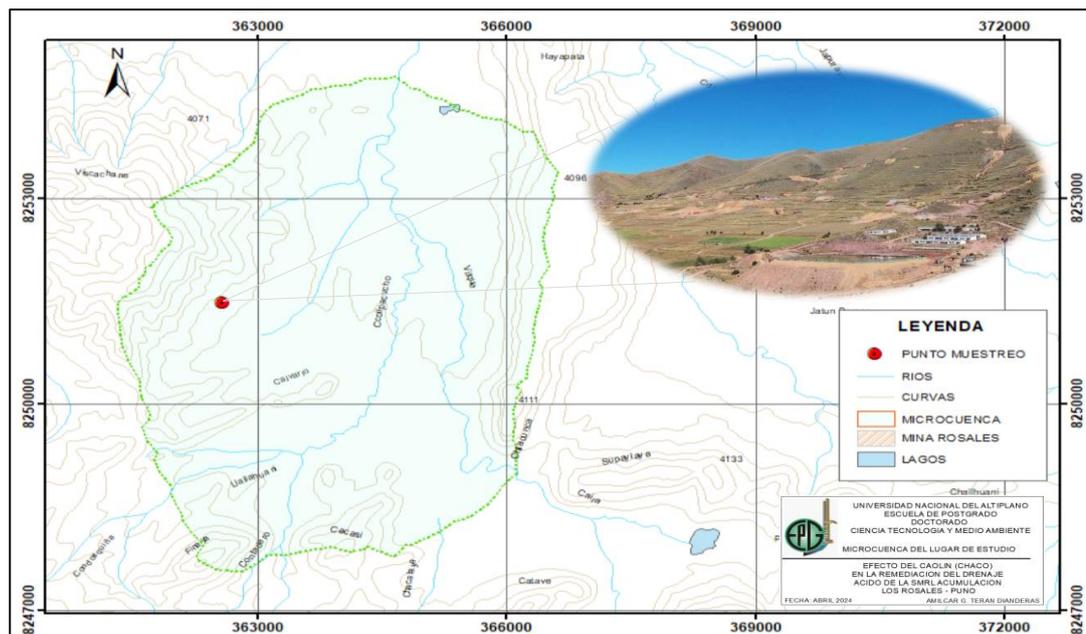
Tabla 7

Coordenadas del lugar de estudio

Nº	Metros al Este	Metros al Norte	Cota (m.s.n.m.)
1	362 548	8 251 484	3 988
2	362 681	8 251 541	3 983
3	362 798	8 251 450	3 964
4	362 628	8 251 438	3 975

Figura 4

Mapa de sitio de investigación



Nota. Google, (s.f.)

3.1.2 Accesibilidad

Para llegar al lugar de estudio desde la ciudad de Puno, se debe seguir las indicaciones que señala la tabla 8, se describe la ruta, distancia, tiempo y tipo de carreteras para garantizar un desplazamiento eficiente y seguro.

Tabla 8

Acceso al sitio

Vía	(km)	Duración	Tipo
Puno – Vilque	35	01:00	Asfaltada
Vilque – Los Rosales	8	00:20	Afirmada
Total	43	01:20 hrs.	-

3.1.3 Clima

En la zona de estudio el clima es variado con temperaturas bajas en época de invierno es extremadamente frígido despejado, las condiciones de sequedad durante todo el año. La temperatura oscila entre -4° y 17°C (SENAMHI, 2022).

La flora comprende por cantidades de ichu, pino, colle y las raíces que son bioacumuladores que absorben la acides de los suelos presentes alrededor de la planta de tratamiento de la Mina los Rosales, existe la presencia de chacras de avena, cebada y algunos tipos de pastos importantes para la alimentación de los animales existentes en la zona.

3.1.4 Geología local

La zona de estudio está comprendida de rocas sedimentarias, se aprecia depósitos cuaternarios, presenta alteraciones argílicas asociadas a las unidades de piroclastos inferiores del grupo barroso fueron depositados en la fase tardía y cupulas entre las calizas, óxidos de hierro como la hematita y la presencia de cuarcitas. Los depósitos de cobre, oro y antimonio del mioceno medio superior. La mineralización comprende de vetas polimetálicas y stock-work de dioritas y granodioritas, presenta una forma de domo y un dique tacitico.

3.1.5 Los Rosales

Es un yacimiento filoniano que se han formado mediante procesos de vulcanismo, la mineralización está presente a lo largo de las fisuras que han sido depositados, así como la calcopirita, pirita, bornita, malaquita, galena, oro nativo, entre otros minerales, la mena impórtate es de cobre, oro y plata, la veta significativa se ubica en el cerro Viscachani que fue interrumpida entre las rocas areniscas y lutitas del Grupo Puno.

Según antecedentes de operaciones en mina, se extrajeron 170,000 Toneladas de la veta, tiene una dirección de N-S de 900 m, un ancho promedio de 30 cm, estimaron 40,000 toneladas de reserva de mineral con una ley promedio de 4% de Cu en el pasado, actualmente las leyes son de 0,9% de Cu, la veta intercepta un stock de diorita, al mismo tiempo se extienden en las areniscas circundantes del Grupo Puno, en la parte superior presentan longitudes simétricas, en la parte central se observa baritina con calcita en menor proporción con ensambles de calcopirita, cuarzo, cobre gris, esfalerita, galena. En los niveles inferiores está compuesta de calcita y dolomita, el oro se encuentra hospedada en la pirita y en la calcopirita (Rodríguez et al., 2020).

3.1.6 Estratigrafía

La estratigrafía en la zona esta correlacionada con las rocas aflorantes más antiguas que están compuestas por sedimentos lutáceo pizarrosas, areniscas y cuarcitas del paleozoico devónico, mayormente contine areniscas, limolitas durante el mesozoico del Jurásico y Cretáceo y en gran parte del Cenozoico del terciario inferior, emplazados por un intrusivo hasta principios del cuaternario donde se caracteriza por la presencia de materiales aluviales (ver anexo 9). La era Cenozoica comprende depósitos volcánicos y sedimentos cuyas unidades comprenden a partir del terciario inferior al cuaternario, los Volcánicos Tacaza está conformada por volcánicos clásticas teniendo una variación lateral y un espesor de 3 000 m y una litología variada comprendida de areniscas de color gris a pardo amarillento con una granulometría variada y escasa gradación con espesores menores hospedados de conglomerados. (Rodríguez et al., 2020).

3.2 Población

La población está constituida de un área de 50 Hectáreas que abarca toda el área en operaciones y pasivos ambientales generados por el proyecto minero SMRL Acumulación Los Rosales – Puno, de Drenaje Ácido de Mina (AMD) de gran interés debido a su contacto directo con el entorno.

3.3 Muestra

La selección de la muestra para el presente estudio de investigación se ha considerado un volumen de 50 galones de aguas acidas de mina que salen de la bocamina Candelaria - Acumulación Los Rosales.

3.4 Método de investigación

La presente investigación tubo un enfoque cuantitativo; de nivel descriptivo, de tipo aplicativo, siendo el diseño de investigación no experimental - transeccional o transversal. La metodología utilizada en esta investigación se distinguió por ser discrecional a partir de la ubicación del punto de muestreo que fue en la bocamina de Acumulación los Rosales. Se llevó a cabo mediante un estudio de campo y la recopilación de datos in situ. Además, se aplicó decreto Supremo N° 004-2017-MINAM que establece los niveles de concentración de metales pesados y parámetros fisicoquímicos presentes en el agua dependiendo la condición del receptor o los componentes de los ecosistemas, que se aprueban los estándares de calidad ambiental (ECA). La muestra fue recolectada y rotulada adecuadamente del punto de estudio, posteriormente fueron llevadas al laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Siendo la muestra depositada en envases cilíndricos de polipropileno de 50 galones o 200 litros.

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1 Comparar el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”

Para el proceso del comportamiento de la arcilla con la caolinita “chaco” se diseñó un proceso de prueba de jarras que comúnmente es denominado Jar- test se tomó en cuenta diferentes concentraciones para obtener la dosis optima de la arcilla, se consideraron aproximadamente 14 horas diarias volumen de 250 ml en

cada concentración, para el comportamiento del pH se utilizó un dispositivo digital de lectura directa antes de la aplicación del tratamiento utilizando cuatro disoluciones, trabajándose en el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas. Para el comportamiento del pH y concentraciones de metales pesados se trabajó en fases, así como se detalla:

A. Procedimiento metodológico

La técnica que se utilizó para calcular el nivel de pH, antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco” se siguió mediante cuatro etapas, así como:

- a) Recolección de datos en campo
- b) Monitoreo realizado en campo
- c) Ensayos en laboratorio
- d) Análisis estadístico

B. Recolección de muestra en campo

Para la recolección se realizó de manera cuidadosa, tomando en cuenta los respectivos protocolos de muestreo, se tomó un envase cilíndrico de polipropileno previamente esterilizados de 50 galones con su respectiva cadena de custodia para la toma de datos. Para ello fue asegurado el envase completamente sumergido para llenarlo evitando la incorporación de aire.

C. Monitoreo realizado en campo

El punto de muestreo fue identificado en la bocamina de los SMRL Acumulación Los Rosales teniendo su ubicación exacta con un equipo portátil GPS (Garmin) para los puntos de coordenadas, a su vez se realizaron la toma de datos de los parámetros fisicoquímicos con el apoyo de un equipo Multiparámetro Hanna Instruments HI9829, utilizando un registro de datos.

Figura 5.
Cadena de custodia para muestras de agua

N° ESTACION DE MUESTREO		FECHA	HORA	PARAMETROS SOLICITADOS																				PRESERVACION		OBSERVACION														
NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL CLIENTE:				N° DE ORDEN DE TRABAJO:																				N° DE CADENA DE CUSTODIA:		N° DE SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:														
EMPRESA / UNIDAD:				Pág. ___ / ___																				N° DE CADENA DE CUSTODIA:																
UBICACION DEL MUESTREO (DISTRITO / PROVINCIA / DEPARTAMENTO):				N° DE CADENA DE CUSTODIA:																				N° DE CADENA DE CUSTODIA:																
REFERENCIA:				N° DE CADENA DE CUSTODIA:																				N° DE CADENA DE CUSTODIA:																
CONTACTO:				N° DE CADENA DE CUSTODIA:																				N° DE CADENA DE CUSTODIA:																
Observaciones: Metales Totales: Método: ICP <input type="checkbox"/> AA Hg <input type="checkbox"/> Metales Disueltos: Método: ICP <input type="checkbox"/> AA Hg <input type="checkbox"/> Observaciones en la Recepción de Muestras:				Responsable del Muestreo:										Firma:										QA/QC:		Blanco (campo y viajero) <input type="checkbox"/> Duplicado de Campo <input type="checkbox"/> Fecha: _____ Hora: _____ Fecha: _____ Hora: _____														
				Fiscalizador o Supervisor:										Firma:										Fecha: _____ Hora: _____																
				Recibido por:										Firma:										Fecha: _____ Hora: _____																
				MATERIA:										MATERIA:										MATERIA:																
				1. AGUA NATURAL: 1.1) Agua Subterránea: A. Manantial 1.2) Agua Subterránea: A. Sonjal 1.3) Agua Superficial: Rio 1.4) Agua Superficial: Laguna / Lago 1.5) Agua Superficial: Agua de Inyos Cub. amebacterica (huera plomo)										2. AGUA RESIDUAL: 2.1) Agua residual industrial 2.2) Agua residual domestica										3. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO: 3.1) Agua potable (consumo) 3.2) Agua de mesa (consumo) 3.3) Agua envasada (consumo) 3.4) Agua de ducha (serv) 3.5) Agua de laguna artificial (uso)										4. AGUA SALINA: 4.1) Agua de mar 4.2) Agua salobre 4.3) Salmuera 4.4) Agua de Inyección y Inyección		5. AGUA DE PROCESO: 5.1) Agua de circulación o enfriamiento 5.2) Agua de alimentación para calderas 5.3) Agua de calderas 5.4) Agua de tratamiento 5.5) Agua de purificación 5.6) Agua de inspección y retroalimentación		OTROS:		

Así mismo se utilizó una ficha de parámetros físico-químicos, nos permitió documentar de manera precisa el historial y la ubicación de la muestra desde el punto de recolección hasta su llegada al laboratorio, así mismo, protegiendo la confidencialidad de la muestra y evitando las manipulaciones no autorizadas al establecer controles sobre el acceso y la manipulación de las mismas. Y así cumpliendo con las normativas y regulaciones establecidas por organismos gubernamentales y estándares de calidad, garantizando que los procedimientos de recolección y análisis cumplan con los requisitos establecidos.

D. Materiales

- Cooler grande
- Guantes de vinilo, nitrilo
- Mascarillas,
- Tijeras esterilizadas
- Agua destilada
- Alcohol 70°

E. Equipos

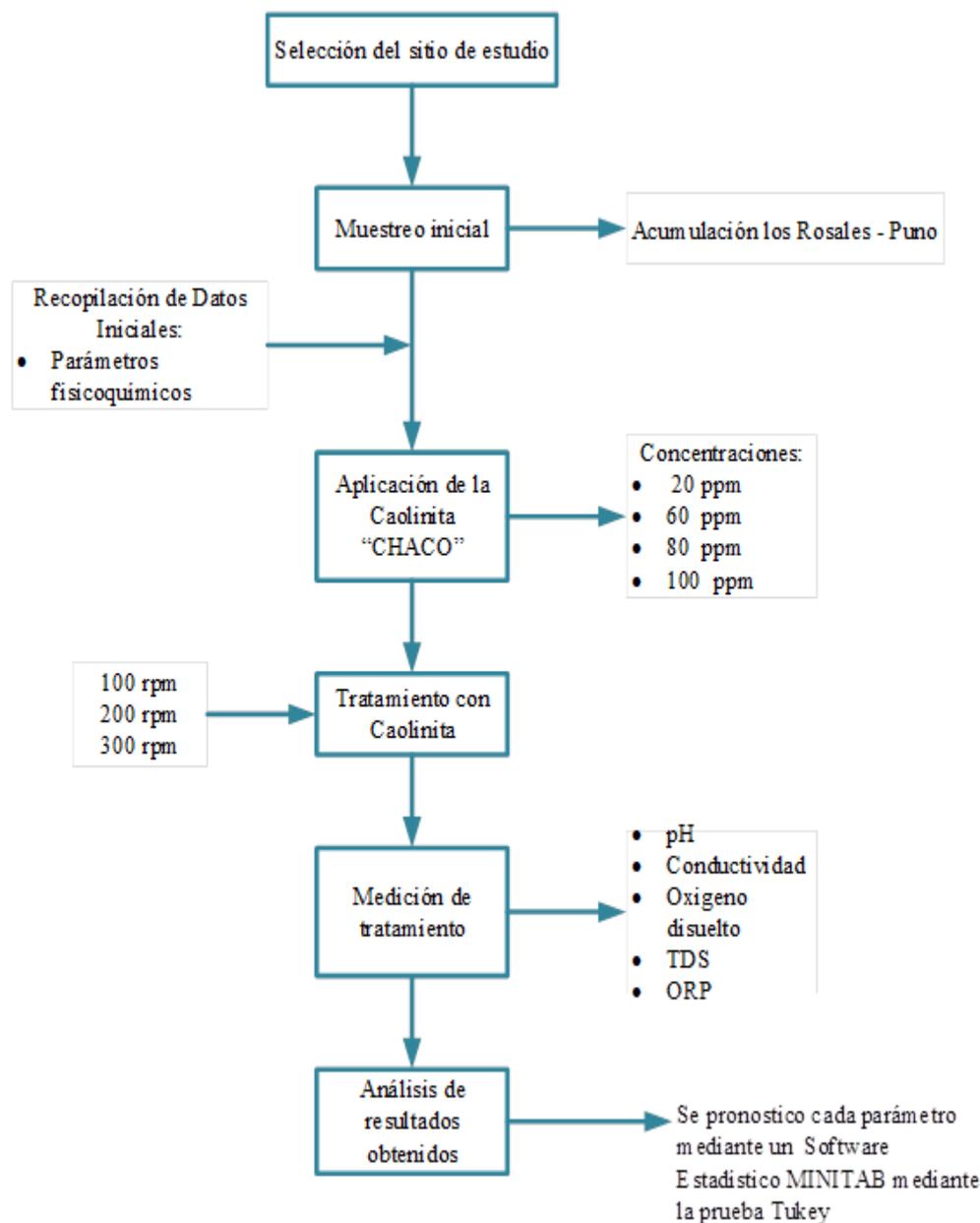
- Equipo de posicionamiento (GPS 600WE/1194)
- Multiparámetro Hanna Instruments (HI9829)
- Agitador Jar Test Modelo (BJT-4)
- Espectrofotómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas 4210 MP-AES
- Multiparamétrico de mesa (STARTER OHAUS ST3100M-F)
- Digestor de Microondas (MDS-15)
- Balanza Analítica (GR-300)
- Destilador de Agua (Water Still/ 2001/2)

Insumos

- Ácido nítrico (65,8 %; $\rho = 1,395 \text{ g/cm}^3$)
- Caolinita “chaco”
- Agua destilada

F. Ensayos en laboratorio

Para el análisis en el laboratorio se realizó un proceso crucial, la evaluación del estado de la calidad de agua una vez traída del punto de muestreo y las pruebas se realizaron en el laboratorio de monitoreo y evaluación ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Puno, para ello se consideró las variaciones de pH y parámetros fisicoquímicos teniendo en cuenta el siguiente diagrama de flujo:



G. Marcha de análisis de muestra

Se ha seleccionado el punto de muestreo de aguas acidas de mina ubicadas en la bocamina Candelaria, se han medido los parámetros fisicoquímicos en el lugar in situ utilizando el equipo multiparámetro Hanna Instruments (HI9829), obteniendo principalmente un pH de 3,39, se trasladó el agua acida de manera cuidadosa, tomando en cuenta los respectivos protocolos de muestreo, se tomó envases cilíndricos de polipropileno previamente esterilizados de 50 galones con su respectiva cadena de custodia, en el laboratorio de Monitoreo y Evaluación

Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, se procedió a realizar la adición de la caolinita a una concentración de 20, 60, 80, 100 ppm, a una revolución de 100, 200, y 300 rpm durante 15 minutos respectivamente, luego se ha medido los parámetros fisicoquímico; pH fue (4,06), ORP/mV (98,00), TDS ppm (1036), Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2068), OD (3,25). Para determinar la concentración de metales pesados se utilizó el equipo Espectrofotómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas 4210 MP-AES.

H. Toma de muestras

El punto de muestreo fue en la bocamina Candelaria, con coordenadas Este; 362547 Norte; 8251486 se ha extraído 50 galones de agua acida siguiendo el protocolo de muestreo que establece la norma del MINAM, se ha medido parámetros fisicoquímicos insitu con el equipo multiparámetro Hanna Instruments (HI9829).

I. Prueba de Jar test

De acuerdo a la norma americana (ASTM) se estableció en el enfoque de la evaluación del tratamiento de agua reduciendo el contenido en solidos disueltas materias coloidales y entre otras materias trabajándose con una velocidad de 300 rpm durante 15 min en tal caso trabajando para una obtener la concentración optima (Hadi et al., 2024).

J. Preparación de la caolinita o chaco

La caolinita o chaco fue obtenida del distrito de Asillo, provincia de Azángaro, departamento de Puno una cantidad de 3 kg seguidamente se elaboró una solución madre de caolinita o chaco al 5%, disolviendo 500 gramos de caolinita en un litro de agua destilada. Esta acción se realizó para garantizar la consistencia de las concentraciones y asegurar que las condiciones de evaluación sean idénticas al comparar la eliminación o cambios en los parámetros. y bien diluidas en una misma concentración.

Para obtener resultados más deseables se trabajó en una disolución bastante diluida, es decir, se utilizó 600 ml/L.

Para ello en este tipo de ensayos de laboratorio la mejor opción se trabajó en recipientes de 1 litro de capacidad con el fin de mejorar las condiciones de transferencia siguiendo el siguiente procedimiento:

Paso 1. Se preparo la caolinita o chaco $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ en disoluciones para la adición a las muestras según la dosis buscada.

Paso 2. Se llenaron en 4 vasos precipitados de 1 L con muestra se añadió $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ para obtener diferentes concentraciones.

Paso 3. Se coloco una agitación de 100 rpm, 200 rpm y 300 rpm por un lapso de 1min con el fin ajustar el pH y determinado la dosis optima de la concentración de la caolinita “chaco” para ello se tomó en cuenta lo siguiente:

Tabla 9

Ensayos con caolinita preparaciones en disoluciones de 600 mg/L

Capacidad	Concentración	RPM	Tiempo
d	PPM		
1 litro	20	100	15 min
1 litro	60	100	15 min
1 litro	80	100	15 min
1 litro	100	100	15 min

Paso 4. Se tomaron nuevamente 4 muestras de 1L añadiendo la caolinita en diferentes concentraciones manteniendo la agitación rápida durante 1min y posteriormente una agitación lenta por 10 min.

K. Medición de parámetros fisicoquímicos

Para realizar mediciones de parámetros fisicoquímicos, se siguió las normas y métodos específicos para garantizar la precisión y la reproducibilidad de los resultados siendo los parámetros medidos los siguientes:

- pH:

Norma: ISO 10523:2012 para agua potable.

Método: Se utilizó un pH metro calibrado con soluciones estándar de pH 4, 7 y 10. Se introdujo el electrodo en la muestra y se registró el valor de pH.

- **Conductividad eléctrica**

Norma: ASTM D1125-14 para mediciones en agua.

Método: Se uso un medidor de conductividad calibrado con soluciones estándar. Se sumerge la sonda en la muestra y se registra la conductividad en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

- **Oxígeno disuelto**

De acuerdo con la normativa de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), establece que el contenido de oxígeno disuelto en aguas superficiales debe ser de al menos 5 miligramos por litro (mg/L) para garantizar la preservación de la fauna y flora acuáticas.

- **Potencial de oxidación/reducción (ORP)**

Se utilizó la norma ISO 7888.

Sólidos totales disueltos: Se calculó 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).

A. Análisis estadístico

Se aplicó un diseño estadístico con el uso software Minitab versión 19. Para contrastar la hipótesis de este trabajo, se usó un diseño completamente al azar (ANOVA), considerando los datos de la caolinita "chaco" el pH, parámetros fisicoquímicos de agua acida de la mina SMRL Acumulación los Rosales, a un nivel de significación de 5%, para poder evaluar las diferencias significativas cuyo modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \begin{cases} i = 1,2,3 \\ j = 1,2,3,\dots,r \end{cases}$$

Donde:

μ : Media poblacional

τ_i es el efecto i-ésimo punto de muestreo

ϵ_{jj} : Error experimental o error aleatorio

El propósito principal del modelo estadístico es determinar el impacto de los tratamientos para examinar la hipótesis asociada con las distintas intensidades del factor. Para este fin, se trató a los errores experimentales como variables aleatorias independientes que se adhieren a una distribución con una media de cero y una varianza constante.

3.5.2 Determinar la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno

Se inició el proceso mediante la fase de planificación en el entorno de trabajo en gabinete, donde se llevó a cabo la recopilación de información bibliográfica y documental sobre la ubicación en cuestión. Esto se logró mediante la creación de mapas base, el análisis de estadísticas de población y la descripción detallada de las características físicas de la zona, incluyendo información sobre el clima, la meteorología, las precipitaciones y las temperaturas. Además, se recopilaron datos relacionados con las actividades y las características generales del área de estudio, como se mencionó en un estudio previo realizado por (Ma et al., 2023) y otros investigadores.

- **Procedimiento metodológico**

Para esta etapa metodológico se procedió se utilizaron varias técnicas en la determinación de contenido de metales pesados en el AMD de la bocamina Candelaria, se involucró un proceso dividido en tres fases, tal como:

- a) Recolección de datos en campo
- b) Ensayos en laboratorio
- c) Análisis estadístico

a) Recolección de datos de campo

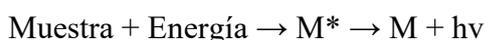
Para la recolección de muestra se realizó de manera cuidadosa, tomándose en cuenta los respectivos protocolos de muestreo, se tomó envases de 50 gls previamente esterilizadas con sus respectivos rótulos y cadena de custodia para la toma de datos. Para ello fueron aseguradas los envases completamente sumergidos para llenarlas evitando la incorporación de aire.

Ácido nítrico (65,8 %; $\rho = 1,395 \text{ g/cm}^3$)

Se ha utilizado con el propósito preservar los metales pesados permitiendo las lecturas posteriormente antes y después del tratamiento con la caolinita.

b) Ensayos en laboratorio

Para determinar la concentración de metales pesados se trabajó mediante la espectroscopia atómica mediante técnicas analíticas para su determinación, se utilizó el equipo de Espectrofotómetro de Emisión Atómica mediante Plasma Microondas 4210 MP-AES utilizándose nitrógeno suministrado, los métodos atómicos utilizados se basan de acuerdo a la media de radicación emitida por los átomos tomados de muestra previa.



Las fuentes de excitación que alcanzó durante el proceso de atomización influyen a la complejidad del espectro obtenido.

Tabla 10

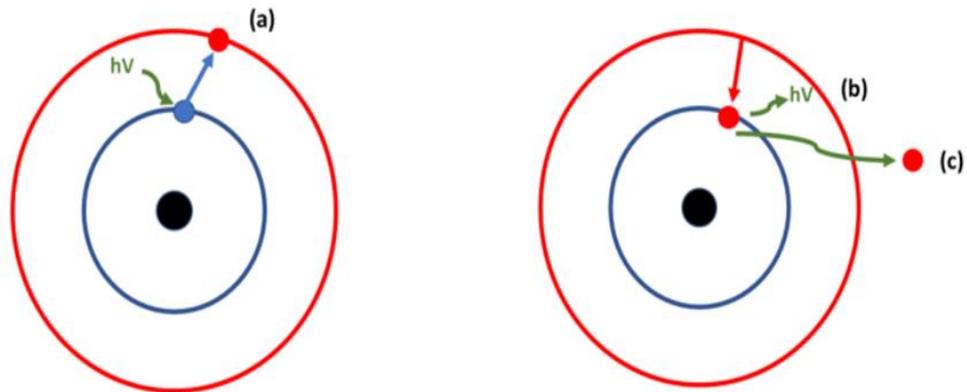
Características de los métodos empleados

Fuente	T, °C	Método
Llama	1700-3100	Fotometría de llama
Arco	4000 - 5000	Espectrometría de emisión
Chispa		Espectrometría de emisión
Plasma	5000 - 8000	ICP, DCP, MIP

La longitud de onda de la luz sea absorbida o emitida por los átomos, se dio en transacciones de niveles de energía de los electrones para cada elemento que se trabajó distintas longitudes de onda.

Figura 6.

Longitud de onda de los átomos



Nota. Serrano et al. (2021).

Donde:

- Absorción de energía generado de un electrón excitado
- Emite un fotón con longitud de onda particular ICP- OES
- Suficiente energía y dejara un ion con carga positiva (ionización)
ICP- MS

Paso 1. Para obtener el contenido de la concentración de los metales pesados, se realizó en primer lugar las curvas de calibración que corresponde a cada metal con el intervalo de concentración comprendido entre 2,5 ppm, 5,00 ppm y 10ppm.

Paso 2. Para cada metal se realizó como mínimo tres puntos de calibración. Estas disoluciones se prepararon a partir de disoluciones patrón certificadas para análisis de emisión atómica de 1000 mg L⁻¹ en medio ácido nítrico al 0,5 %.

Paso 3. Se procedió a realizar la estandarización en fioles de 100 ml aforándose con agua desionizada para luego realizar la lectura de la

concentración de la muestra en metales pesados en relación entre absorbancia (A) y la concentración (C), se emplearon cálculos de regresión lineal.

$$A = mC + b$$

Se puede demostrar de la siguiente manera:

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

$$b = \frac{\sum A}{n} - m \frac{\sum C}{n}$$

Donde:

A = absorbancia

C = concentración

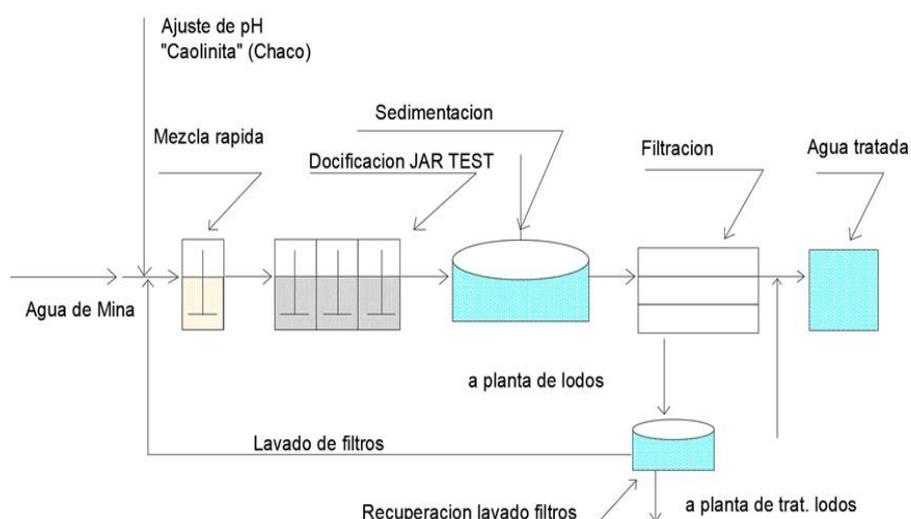
m = factor de calibración

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

n = es el número de valores tomados

Figura 7.

Tratamiento de agua de mina con caolinita en 20, 60, 80 y 100ppm en 15 minutos



El tratamiento con la caolinita “chaco” consistió en agregarle una cantidad de 100 ml de agua acida en un envase de vidrio de 1000 ml a una

concentración de 20 ppm, a 200 rpm, en un lapso de 5, 7, 9, 11, 13 y 15 minutos respectivamente, luego se esperó para que las partículas se asienten, se utilizó el equipo Hanna Instruments (HI9829) para medir los parámetros fisicoquímicos, como resultado en 5 minutos el pH fue (4,06), ORPmV (98,00), TDS ppm (1036), Conduc $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2068), OD (3,25), se incrementó la concentración en 60, 80 y 100 ppm de caolinita, la concentración optima fue de 100 ppm en 1000 ml, a 200 rpm, en un tiempo de 15 minutos de agitación. Los resultados fueron; pH (5,02), ORPmV (80,45), TDS ppm (800), Conduc $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1299), OD (2,78), demostrando así que la caolinita es una arcilla que puede ser utilizada para el tratamiento de aguas acidas de mina.

a) Análisis estadístico

Se realizó el análisis de la desviación estándar y la estimación del ANOVA para los metales pesados respectivamente, con la finalidad de encontrar diferencias significativas se hizo de manera agrupada con un intervalo de confianza al 95 % de significancia, con el software Minitab versión 19, agrupando los datos de respuesta separados para cada columna por cada factor y agrupando en una gráfica de intervalos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comparar el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”

Para obtener el comportamiento de pH y parámetros fisicoquímicos se realizó un monitoreo del agua acida de mina de la Labor Candelaria Acumulación Los Rosales antes y después del tratamiento con la caolinita “Chaco”.

Se tomó la muestra de agua de mina, en la bocamina de la Labor Candelaria - Acumulación Los Rosales y se realizó en diferentes etapas teniendo en cuenta los parámetros como como la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (CE), potencial de oxidación y reducción (ORP), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos (TDS) teniendo en cuenta los siguientes resultados antes del tratamiento con la caolinita “Chaco”.

Estos resultados muestran variaciones en los parámetros fisicoquímicos medidos antes del tratamiento, donde la concentración de oxígeno disuelto (%DO) aumentó a 85,8%, lo que podría perjudicar a la vida acuática. La conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la conductividad específica ($\mu\text{S}/\text{cmA}$) también experimentaron cambios significativos, lo que podría reflejarse una reducción en la carga de sólidos disueltos en el agua tratada.

En el laboratorio los iones mayoritarios, y uno de los iones más comunes presentes en el agua ácida es el ion de hidrógeno (H^+), que causa valores bajos de pH observados en las muestras obtenidas. La oxidación de la pirita libera sulfatos (SO_4^{2-}) al medio acuoso, lo cual indica la presencia de estos iones registrados en las muestras iniciales.

Tabla 11

Parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento con la caolinita – chaco

N°	Parámetros	Resultados
1	mVpH	214,8
2	pH	3,39
3	mVORP	104,1
4	%DO	85,8
5	ppmDO	5,71
6	μS/cm	860
7	μScm ^A	633
8	MΩ.cm	0,0012
9	ppmTDS	428
10	PSU	0,45
11	σt	0,00
12	°C	12,33
13	PSI	9,271

Posteriormente, se realizó un análisis más detallado para comprender completamente los efectos del tratamiento con la caolinita en concentraciones de 20ppm, 60ppm, 80ppm y 100ppm por 15 min.

Tabla 12

Concentraciones de 20 ppm

Capacidad (ml)	Concentración ppm	RPM	Tiempo (min)	pH	ORP mV	TDS ppm	Conduc μS/cm	OD ppm
100	20	200	5	4,06	98,00	1036	2068	3,24
100	20	200	7	4,07	97,50	1035	2064	3,25
100	20	200	9	4,09	97,30	1034	2054	3,35
100	20	200	11	4,12	97,30	1033	2045	3,41
100	20	200	13	4,16	97,20	1031	2035	3,42
100	20	200	15	4,20	97,00	1025	2025	3,45

Estos resultados muestran cómo varían los parámetros antes y después del tratamiento con la caolinita "Chaco" en diferentes condiciones de capacidad y

concentración se observa una tendencia hacia un aumento en el pH después del tratamiento con la caolinita, junto con cambios en el ORP (potencial de oxidación-reducción), la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totales disueltos (TDS) y la concentración de oxígeno disuelto (OD). Estas variaciones sugieren que el tratamiento con caolinita "Chaco" puede tener un impacto en la calidad del agua, mejorando varios aspectos fisicoquímicos. Sin embargo, se realizó pruebas con concentraciones de 20 ppm, 60 ppm, 80 ppm y 100 ppm en 200 RPM por un tiempo de 15 min teniendo en cuenta los siguientes resultados.

Tabla 13

Concentración para 100 ppm

Capacidad (ml)	Concentración ppm	RPM	Tiempo (min)	pH	ORP mV	TDS ppm	Conduc $\mu\text{S}/\text{cm}$	OD ppm
100	100	200	5	4,31	84,3	914	1511	3,48
100	100	200	7	4,45	83,98	910	1410	3,28
100	100	200	9	4,65	83,48	908	1400	3,10
100	100	200	11	4,75	82,98	900	1398	3,08
100	100	200	13	4,85	82,65	825	1378	2,98
100	100	200	15	5,02	80,45	800	1299	2,78

4.1.1 Capacidad y Concentración

Se realizaron tratamientos utilizando 1 litro de agua con diferentes concentraciones de caolinita "Chaco" (5 ppm, 10 ppm, 15 ppm y 20 ppm). La capacidad se mantuvo constante en 200 RPM durante un tiempo de tratamiento de 15 minutos para cada muestra.

El pH antes del tratamiento oscilaba entre 3.00 a 3.60 y después del tratamiento oscila entre 4,31 y 5,02, se observó un ligero aumento en el pH en todas las muestras tratadas. El ORP (Potencial de Oxidación-Reducción) Antes del tratamiento, los valores de ORP variaban desde 97,0 mV hasta 80,45 mV. Después del tratamiento, los valores de ORP mostraron cierta variabilidad, indicando posibles cambios en las propiedades redox del agua tratada. Los TDS (Sólidos Disueltos Totales) y Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) los valores de TDS antes del tratamiento estaban en el rango de 800 ppm a 1025 ppm. La conductividad eléctrica también varió, con valores iniciales entre 2025 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y

2028 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Después del tratamiento, hubo una tendencia a la disminución en ambos parámetros, lo que sugiere una reducción en la concentración de sólidos disueltos y una posible mejora en la conductividad del agua tratada de mina. Así mismo OD (Oxígeno Disuelto) la concentración de oxígeno disuelto antes del tratamiento se encontraba en el rango de 3,45 ppm a 2,78 ppm, después del tratamiento se observó una tendencia hacia un aumento en la concentración de oxígeno disuelto, lo cual es beneficioso para la vida acuática (An et al., 2024).

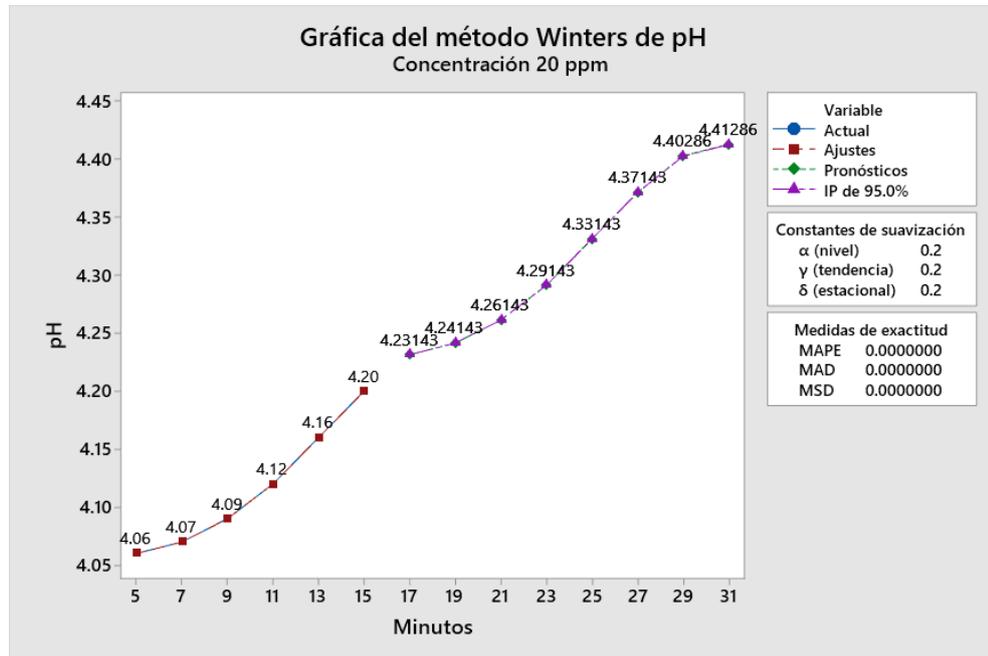
Estos resultados indican que el tratamiento con caolinita "Chaco" puede tener efectos positivos en la calidad del agua, incluyendo una mejora en el pH, la concentración de oxígeno disuelto y la reducción en la concentración de sólidos disueltos.

4.1.2 Pronóstico de parámetros fisicoquímicos

En esta etapa se ha considerado a la concentración de 20 ppm y 100 ppm para ver las diferencias de niveles de concentraciones, a continuación, se describe para cada parámetro el pronóstico según los resultados obtenidos con el equipo Multiparámetro Hanna Instruments (HI9829).

Figura 8

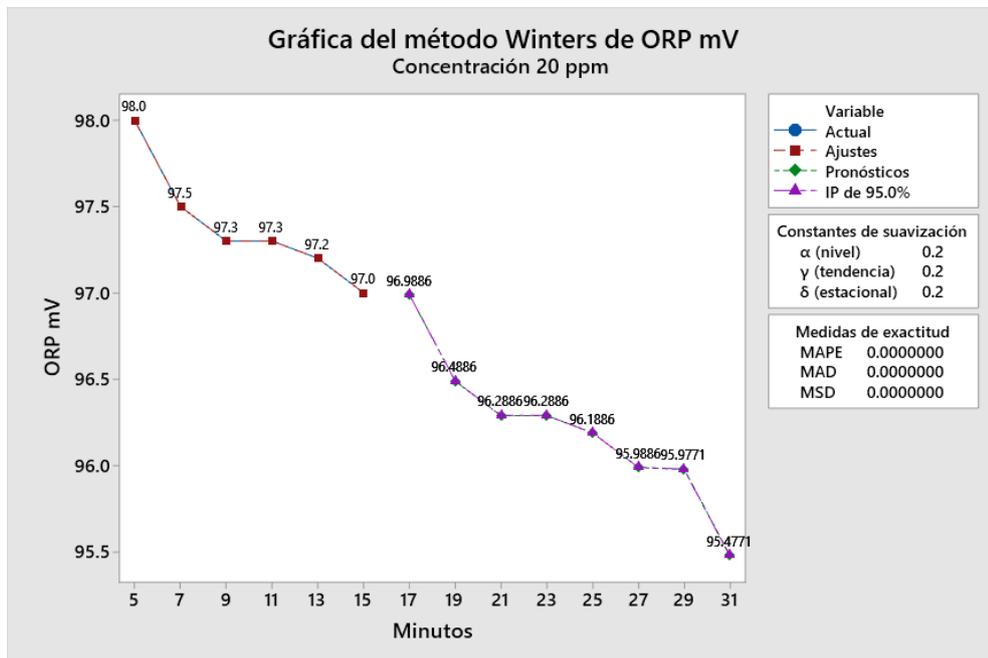
Pronostico del contenido de pH en agua



En la figura 8 señala que al inicio se registró un valor de 4,06 de pH de las aguas acidas de mina en un tiempo de 5 minutos, posterior a ello se incrementó el tiempo de explosión del agua acida con la caolinita a cada 02 minutos hasta que en el minuto 15 se logró obtener un pH de 4,2. Mediante el método Winters se otorgó las ponderaciones crecientes para 8 tiempos cada uno en serie de 2 minutos en el que se logró registrar un pH de 4,41 que se obtendrá en el minuto 31. Así mismo (Huisa, 2023) en su trabajo de investigación obtuvo valores de pH de 5,19 luego de realizar el tratamiento con la caliza logró obtener un valor de 6,82 logrando un incremento de pH por lo que se demuestra su tratamiento con roca caliza.

Figura 9

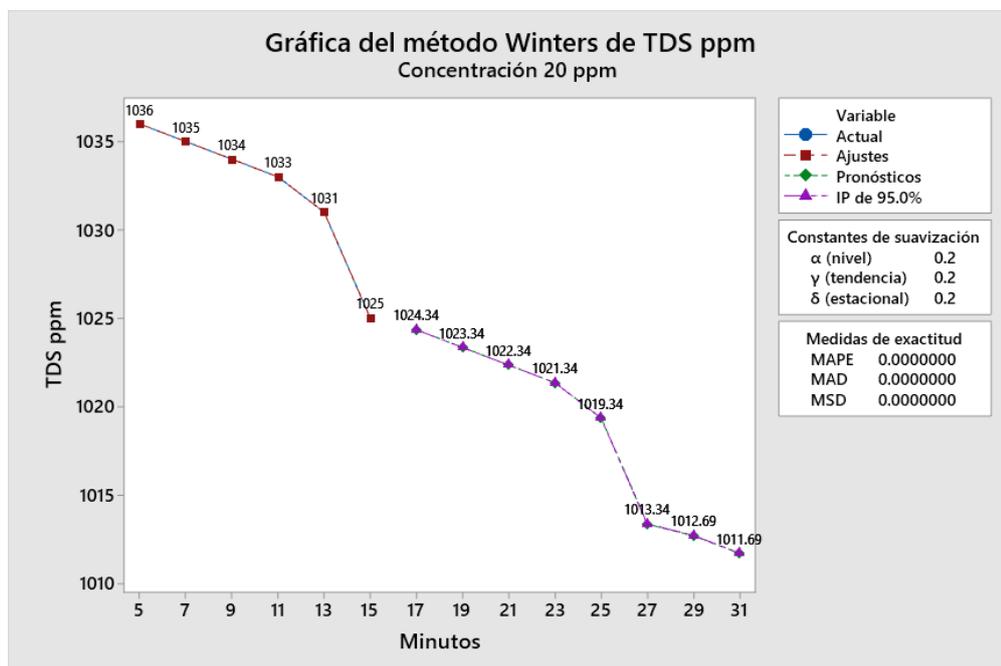
Predicción para potencial de oxidación y reducción (ORP)



Para la obtención de valores del potencial de oxidación y reducción (ORP) se combinó la caolinita con el agua acida de mina, luego se obtuvo un valor de 98,0 en un tiempo de 5 minutos, se procedió con el experimento hasta un tiempo de 15 minutos en el cual se redujo la ORP mV así como se ve en la figura 9, a un valor de 97,0 esto manifiesta que la solución mezclada con la caolinita reduce su capacidad de ganar electrones para causar reacciones de oxidación. Así mismo (An et al., 2024) en su trabajo de investigación realizó el monitoreo en línea de ORP, pH y DO proporcionó correlaciones directas y significativas con el color y la eliminación de DQO, y se usaron como parámetros de entrada para el BPN y los modelos de regresión que se usaron para predecir el color y la eficiencia de eliminación de DQO del proceso.

Figura 10

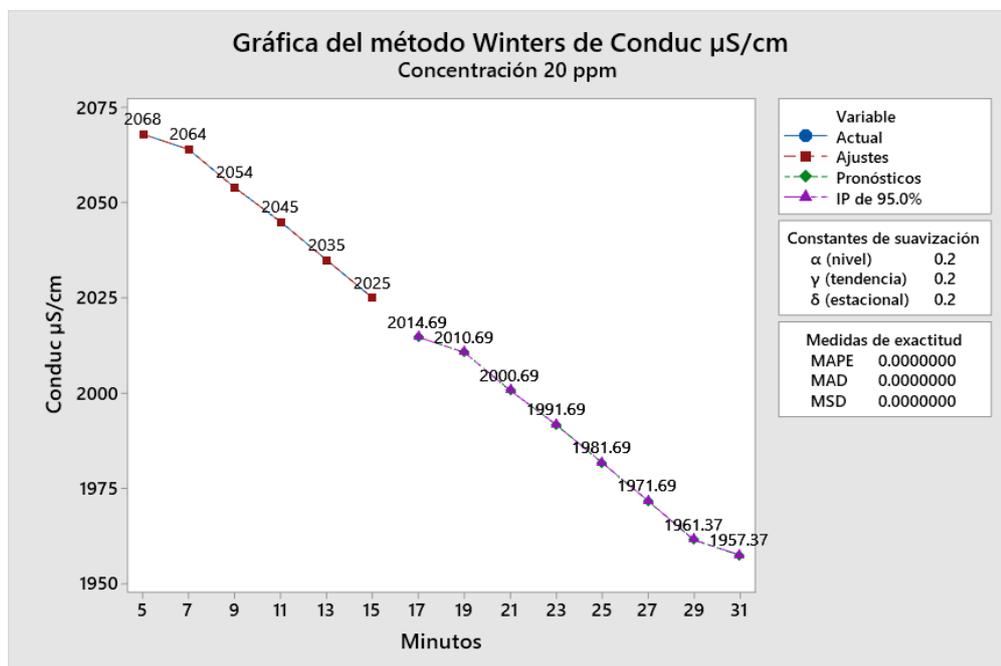
Sólidos totales disueltos en una concentración de 20 ppm



En la figura 10 se tiene valores de 1036 en un tiempo inicial de 5 minutos luego de combinar el AMD con la caolinita, esto manifiesta que tiene minerales contaminantes en concentraciones elevadas, luego de realizar el procedimiento hasta 15 minutos se obtuvo 1025 TDS en ppm esto señala que la caolinita reduce contaminantes si se combina durante un tiempo elongado, así mismo se realizó el pronóstico para un tiempo de 31 minutos respectivamente en donde logró obtenerse un TDS de 1011,69 ppm lo que demuestra que la caolinita es un elemento que podría reducir contenidos de minerales pesados y se puede utilizar en la remediación de las ADM de mina, así mismo los investigadores (Huisa, 2023) lograron reducir contaminantes con oxido de manganeso, en Cu 100%, Ni 100%, Al 99%, Mn 98,6%. Para (Masindi et al., 2019) el efluente que drenaba los desechos de la mina contenía niveles elevados iones, el TDS máximo del agua las muestras en el efluente fueron de 982 mg/l muestreadas en seco y en temporada (primavera) fue 1845 mg/l muestreados en la temporada de lluvias (verano), la cantidad total de piedra caliza pulverizada necesaria para neutralizar los relaves ácidos se estimó en 46 toneladas métricas, suponiendo un volumen de 45 000 m³ y una densidad aparente de 1855 kg/m³.

Figura 11

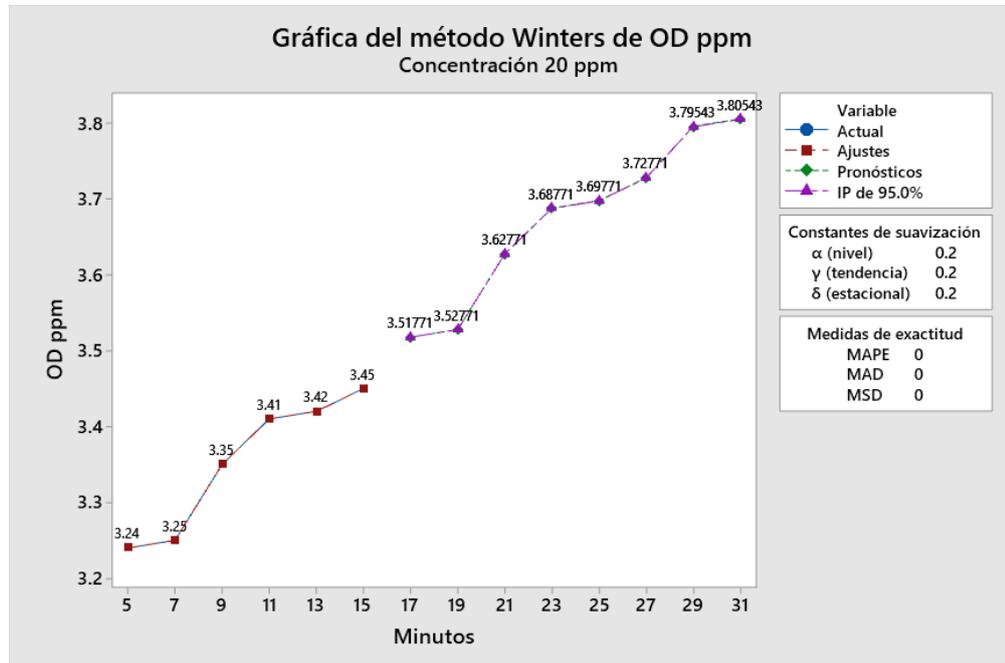
Conductividad eléctrica



La Figura 11 exhibe las predicciones de conductividad, comenzando en 2068 en los primeros 5 minutos y decreciendo progresivamente hasta llegar a 2025 al término del sexto tiempo. Posteriormente, se efectuaron proyecciones para las siguientes ocho, evidenciando un descenso en los valores para cada 2 minutos. Este decremento se atribuye a la multiplicación de impactos en todas las etapas, lo que perturba el equilibrio del agua y conlleva a un aumento en la concentración de sales. (Masindi et al., 2019) los investigadores observaron resultados similares en su trabajo. Según (Yang et al., 2022) la conductividad eléctrica (CE) se correlaciona positivamente con el TDS, la CE más alta se encontró en el drenaje de efluentes de los desechos de la mina con 2080 mS/cm muestreados en primavera y 3820 mS/cm muestreados en verano. Los autores (Yasmin et al., 2022) en su estudio observaron una conductividad eléctrica (CE) promedio que oscilaba entre 100 y 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sin embargo, los valores de conductividad eléctrica (CE) superiores al límite estándar en muestras de agua de minas de la India, oscilaron entre 708 y 3080 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente.

Figura 12.

Oxígeno disuelto

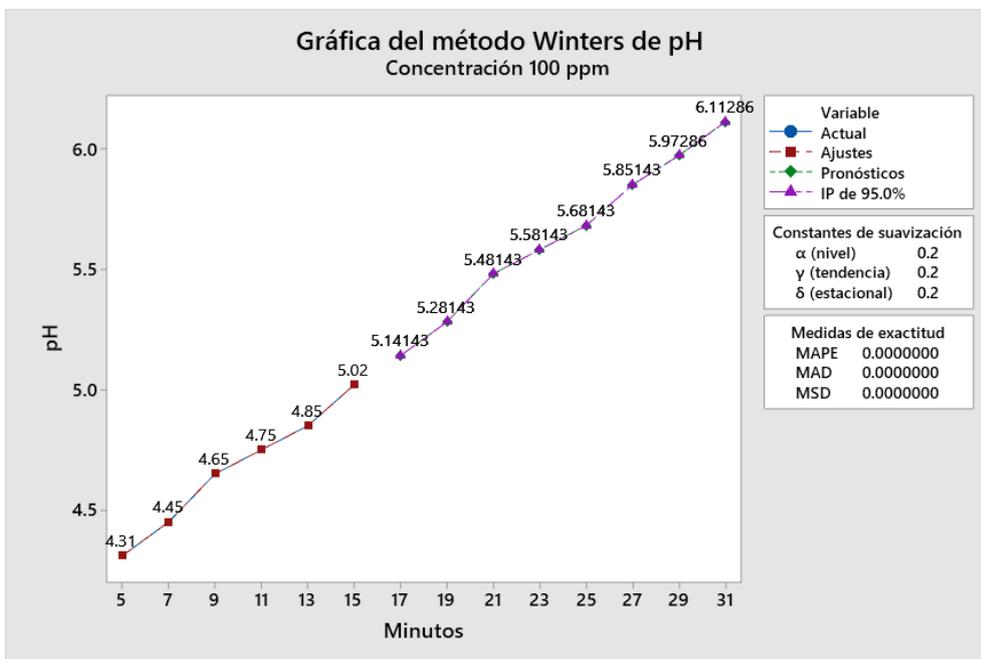


En la figura 12 los valores iniciales de oxígeno disuelto en la combinación del agua acida de mina con la caolinita fue de 3,24 en un tiempo de 5 minutos, se continuó con el experimento obteniendo un valor de 3,45 de OD en los 15 minutos de combinación del agua acida de mina con la caolinita, se hizo el pronóstico para 8 repeticiones, logrando obtener en el minuto 31 un valor de 3,8 ppm de OD, esto demuestra que al combinar las aguas acidas con caolinita incrementan el contenido de oxígeno disuelto y mejoraría la calidad del agua. Los investigadores (Yasmin et al., 2022) en su estudio confirmaron mayor OD desde (9,0 a 12,10 mg/L) en muestras de agua de sumidero de minas de carbón y de agua de arrozales. Así mismo confirmaron que el agua con un mayor contenido de OD es mejor para la vida acuática. La cantidad de sales disueltas en el agua se mide por la salinidad.

4.1.3 Concentración para 100 ppm

Figura 13

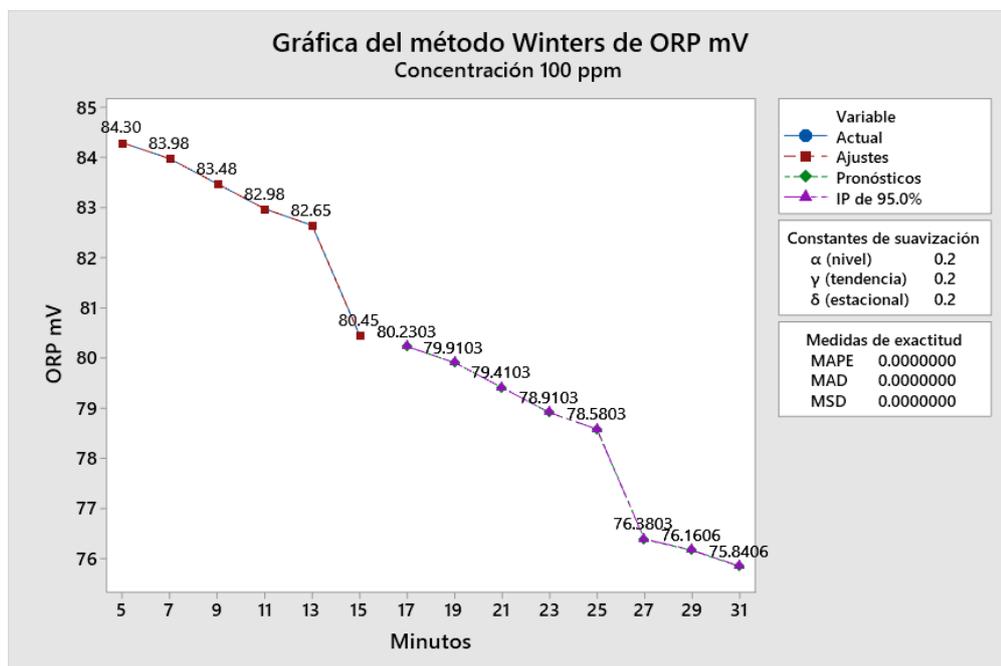
Pronóstico de pH a una concentración de 100 ppm de caolinita en ADM



En la figura 13 se observa que al inicio se detectó un pH de 4,31 en las aguas ácidas de la mina tras 5 minutos de exposición. Luego, se extendió el tiempo de reacción del agua ácida con la caolinita cada 2 minutos, hasta alcanzar un pH de 5,02 a los 15 minutos. Aplicando el método Winters, se asignaron ponderaciones progresivas para 8 intervalos de tiempo, cada uno de 2 minutos, durante los cuales se registró un pH de 6,11 previsto para el minuto 31. Los investigadores (Roulia et al., 2022) utilizaron dos cenizas volantes para evaluar el drenaje minero ácido (AMD), en cuanto a la reducción de la acidez, ambos fueron igualmente rápidos (tiempo de tratamiento de 30 minutos) y eficientes. Para neutralizar las aguas ácidas, utilizaron una carga de 10 g/50 ml de agua ácida dio valores de pH alcalinos (entre 6 ~ 12,5) en aproximadamente 30 minutos. Así mismo el investigador (Huisa, 2023) evaluó las aguas ácidas de mina en SRM acumulación los Rosales, realizó el pronóstico para el pH con una granulometría de 1" de roca caliza donde obtuvo al inicio un valor de 5,94, luego de 8 horas de exposición con el agua ácida logro incrementar a 7,02 su pH del agua ácida de mina.

Figura 14

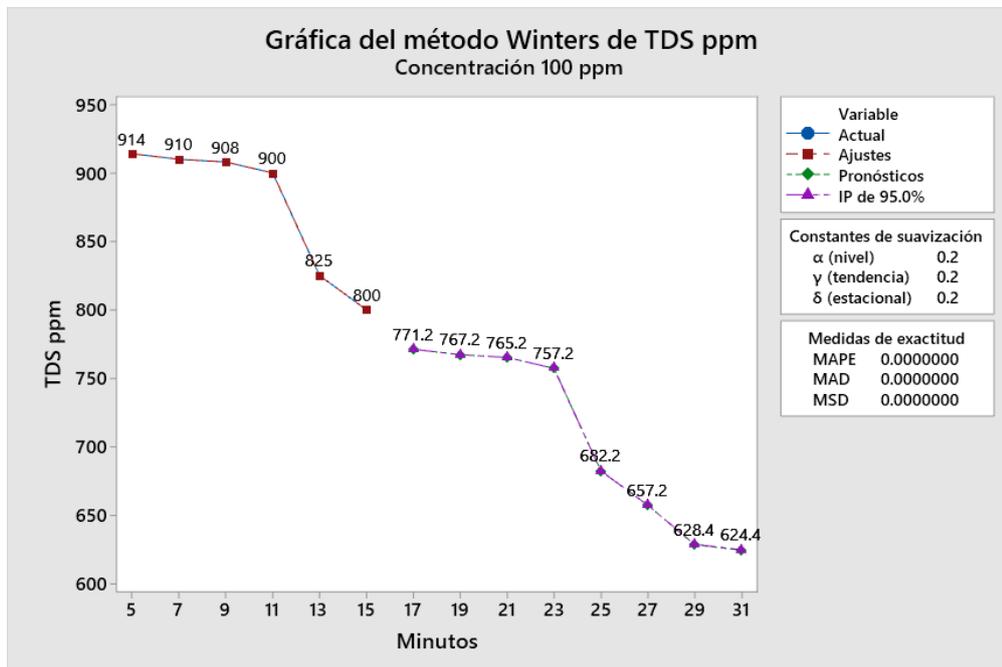
Pronóstico para (ORP) en concentración de 100 ppm



En el proceso de investigación, se combinó la caolinita con el agua ácida de la mina para evaluar el Potencial de Oxidación y Reducción (ORP). Inicialmente, se obtuvo un valor de 84,30 en 5 minutos. A medida que se extendió el experimento hasta los 15 minutos, se observó una disminución en el ORP, como lo muestra la figura 14, alcanzando un valor de 80,45. Este fenómeno indica que la capacidad de la solución mezclada con caolinita para aceptar electrones y provocar reacciones de oxidación se vio reducida, se realizó un pronóstico para 8 intervalos de tiempo, cada uno de 2 minutos, proyectando un ORP de 75,84 mV para el minuto 31. Este resultado sugiere una disminución gradual en el ORP conforme aumenta el tiempo de exposición y la combinación de la mezcla. (Cánovas et al., 2022) en su investigación controlaron el ORP utilizando dos materiales certificados diferentes (240 y 470 mV). Las concentraciones de elementos mayoritarios (Ca, Na, Mg, Al y K) se determinaron mediante espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).

Figura 15

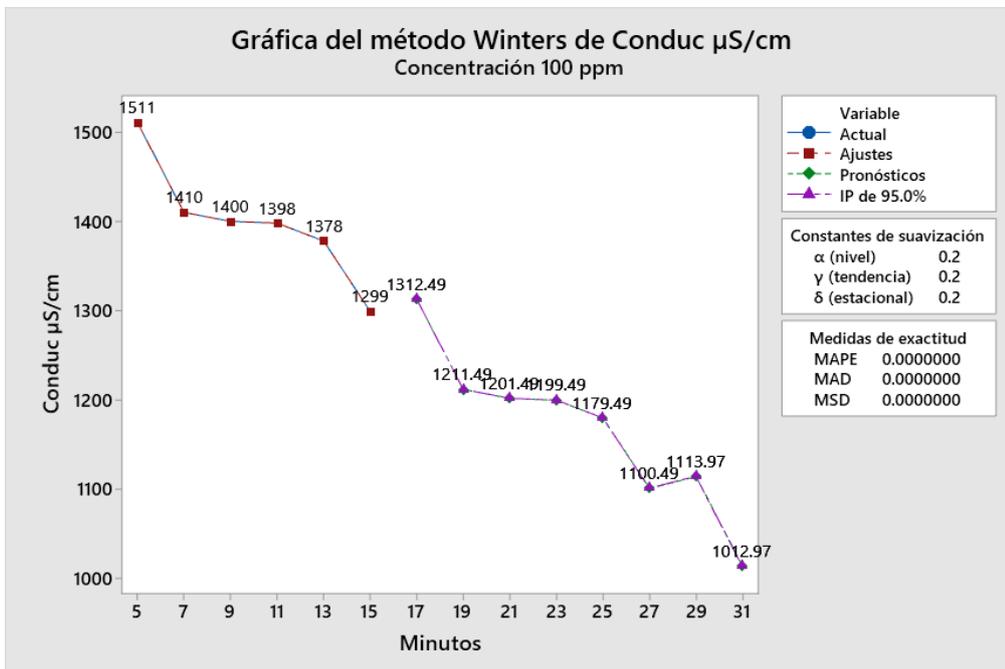
Pronóstico para TDS en concentración de 100 ppm



En la figura 15, se observa que al combinar el agua de drenaje ácido de mina (AMD) con la caolinita, se registró un valor inicial de 914 en un periodo de 5 minutos, lo que sugiere la presencia de minerales contaminantes en concentraciones significativas. Sin embargo, tras extender el proceso hasta los 15 minutos, se obtuvo un valor de 800 TDS en partes por millón (ppm), indicando que la caolinita tiene la capacidad de reducir los contaminantes cuando se combina durante un tiempo prolongado. Además, se realizó un pronóstico para 31 minutos, obteniendo un TDS de 624,4 ppm, lo que confirma el potencial de la caolinita para reducir los niveles de minerales pesados y su viabilidad en la remediación del (AMD). Este resultado se alinea con investigaciones previas realizadas por (Azizi et al., 2024), quienes lograron reducir los contaminantes utilizando óxido de manganeso, obteniendo reducciones significativas en Cu (100%), Fe (99,9%), Zn (97,2%) y Mn (98,6%). Así mismo (Huisa, 2023) en su trabajo determinó la cantidad de solidos totales disueltos en agua acida donde inició con 935 ppm, mediante la predicción por método Tukey indica una disminución que llegaría hasta 545 ppm según el pronóstico que planteó para 12 horas.

Figura 16

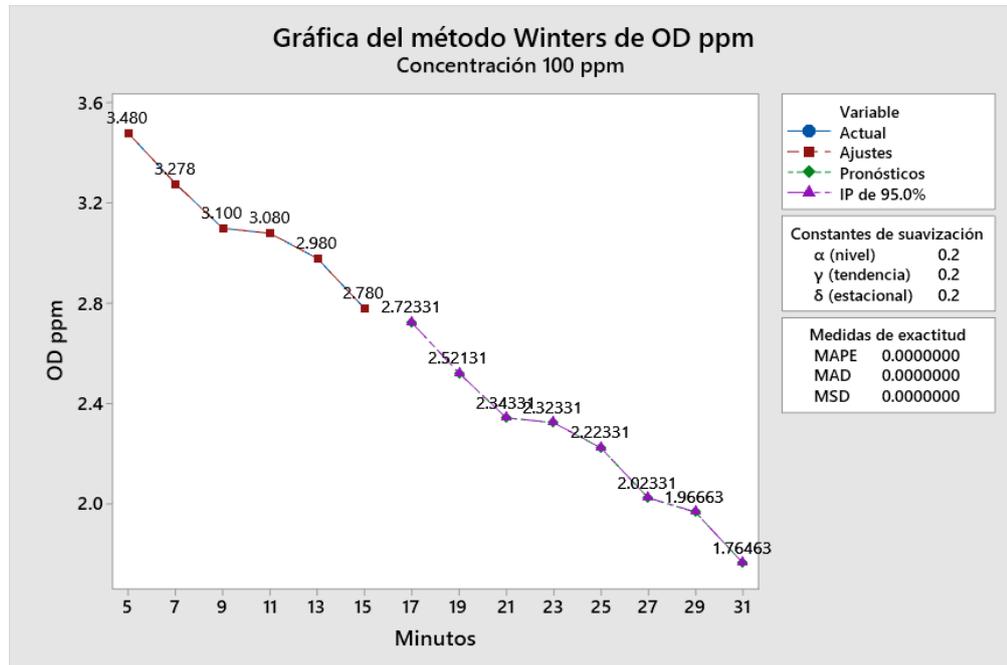
Pronóstico para $\mu\text{S/cm}$ en concentración de 100 ppm



En la figura 16, se presenta un análisis detallado de las predicciones de conductividad eléctrica en un contexto específico. Este análisis se inicia con un registro en 1511 durante los primeros 5 minutos y muestra una tendencia decreciente gradual hasta alcanzar el valor 1299 después de un intervalo de tiempo. Sin embargo, se proyectaron datos adicionales para los siguientes ocho intervalos, revelando una reducción constante en los valores cada 2 minutos, esta acumulación sinérgica de factores disruptivos altera el equilibrio químico del agua, lo que se traduce en un incremento en la concentración de sales disueltas, reflejado en los valores de conductividad eléctrica. Estos resultados coinciden con resultados previos reportados por investigadores como (Moreroa et al., 2022), quienes también observaron un comportamiento similar en sus investigaciones. (Huisa, 2023) en su investigación aplico el modelo Winter en el software Minitab, realizo las predicciones mediante el método aditivo considerando un tiempo de inicio 7:00 am de 1741 y en el transcurso del tiempo llegó a reducir a 1716 luego a las 18:00 hrs alcanzó un valor de 1735, sometió a realizar la predicción para las 12 horas siguientes, incrementó un 5% de lo obtenido antes de la predicción.

Figura 17

Pronóstico para OD en concentraciones de 100 ppm



En la figura 17, se presentan los valores iniciales de oxígeno disuelto (OD) al combinar el agua ácida de mina con la caolinita, registrando 3,48 en un lapso de 5 minutos. El experimento decreció, alcanzando un valor de 2,78 ppm de OD a los 15 minutos de combinación. Se realizó un pronóstico para 8 repeticiones adicionales, proyectando un valor de 1,76 ppm de OD para el minuto 31. (Dutta et al., 2020) determinaron el incremento gradual para una mejora en la calidad del agua a medida que progresa la combinación con la caolinita. (Xu et al., 2022) realizaron la aplicación del monitoreo en línea de ORP, pH y DO proporcionó correlaciones directas y significativas con el color y la eliminación de DQO, y se usaron como parámetros de entrada para el BPN y los modelos de regresión que se usaron para predecir el color y la eficiencia de eliminación de DQO. El modelo BPN tiene buenas capacidades para correlacionar las relaciones entre el ORP, el pH, el OD.

4.2 Determinar la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno

Para la determinación de los metales pesados y el tiempo óptimo de contacto con la caolinita – chaco, se realizó los análisis en el laboratorio de monitoreo y evaluación

ambiental en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano siguiendo los protocolos adecuados de acuerdo a las normativas nacionales incluyendo el uso adecuado de equipos de protección personal, son fundamentales durante el proceso de monitoreo, desde la recolección de la muestra en la mina.

Los resultados muestran la concentración de diferentes metales pesados (As, Pb, Hg, Al, Zn, Mn, Fe) en una muestra de agua de una mina, expresada en partes por millón (ppm), obtenidos mediante el método de ensayo de digestión multiácida seguido de análisis por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (4210 MP-AES).

Tabla 14

Concentración de metales

Muestra	As 197.198 ppm	Pb 405.781 ppm	Hg 546.074 ppm	Al 396.152 ppm	Zn 213.857 ppm	Mn 279.827 ppm	Fe 371.993 ppm	Método de Ensayo
Agua Mina	4,03	5,71	5,81	4,07	1,75	3,54	8,17	Por digestión Multi ácida 4210 MP-AES

Arsénico (As): El arsénico es un metaloide altamente tóxico que puede causar graves problemas de salud, como cáncer y daños en órganos vitales como el hígado y los riñones. La concentración de arsénico en la muestra (4,03 ppm) indica la presencia de este metaloide en niveles detectables, lo cual es preocupante y requiere una evaluación adicional para determinar si supera los límites de seguridad establecidos por las normativas ambientales (Zunino et al., 2024).

Plomo (Pb): El plomo es un metal pesado que puede afectar el sistema nervioso. La concentración de plomo en la muestra (5,71 ppm) está por encima de los límites recomendados para agua potable, lo que indica una posible contaminación que requiere atención y medidas correctivas.

Mercurio (Hg): El mercurio es un metal pesado que puede causar daños neurológicos graves y problemas de desarrollo en fetos y niños. La concentración de mercurio en la muestra (5,81 ppm) también está por encima de los límites aceptables, lo que indica una posible fuente de contaminación (Acharya y Kharel, 2020).

Aluminio (Al), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn) y Hierro (Fe): Estos metales también están presentes en la muestra en concentraciones detectables. Aunque algunos de ellos (como

el aluminio) pueden ser parte de la composición natural del agua, niveles elevados por actividades mineras.

Tabla 15

Concentraciones de metales para un tiempo de 15 minutos

Muestra	As 197.198 ppm	Pb 405.781 ppm	Hg 546.074 ppm	Al 396.152 ppm	Zn 213.857 ppm	Mn 279.827 ppm	Fe 371.993 ppm	Método de Ensayo
20 ppm	2,88	1,38	1,01	1,08	2,34	1,99	5,2	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES
60 ppm	2,77	2,36	1,48	1,43	3,33	1,76	2,96	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES
80 ppm	1,86	1,31	0,35	0,15	5,1	0,86	2,54	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES
100 ppm	0,06	1,76	1,3	1,66	9,08	1,61	1,92	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES

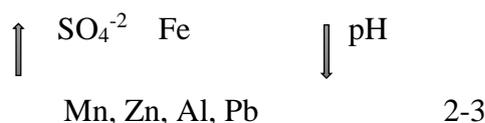
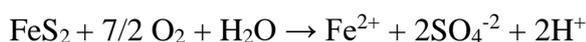
Se evaluó el momento en el que ciertos minerales comienzan a generar aguas ácidas, se toma en cuenta la siguiente reacción. En la primera etapa, el oxígeno oxida la pirita de acuerdo con la siguiente ecuación.



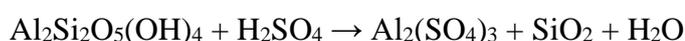
En la reacción se observa que por cada mol de pirita en medio básico llega a la ferrihidrita 4 moles de ácido cabe indicar que el tratamiento de la caolinita neutraliza un mol de ácido, es por eso que son necesario 4 equivalentes de caolinita para neutralizar 1 equivalente de pirita (Silva et al., 2021).

La aplicación de la caolinita – chaco reduce en forma notable los metales pesados afectando al impacto ambiental en forma positiva originando las siguientes reacciones.

Oxidación de sulfuros



Reacciones de neutralización Colinita – Chaco



↑ pH
4-5

Arsénico (As): La concentración de arsénico tiende a disminuir a medida que aumenta la concentración inicial de la muestra, pasando de 2,88 ppm a 0,06 ppm en las concentraciones de 20 ppm y 100 ppm respectivamente. Esto puede ser resultado de la interacción del arsénico con otros componentes presentes en la muestra.

Plomo (Pb): La concentración de plomo muestra una variación irregular, alcanzando valores más altos en la muestra de 60 ppm (2,36 ppm) comparado con la muestra de 100 ppm (1.76 ppm). Esto puede indicar una respuesta no lineal a la concentración de plomo en el agua.

Mercurio (Hg): La concentración de mercurio presenta una disminución notable a medida que aumenta la concentración inicial de la muestra, pasando de 1,48 ppm a 0,35 ppm en las concentraciones de 60 ppm y 80 ppm respectivamente. Este patrón podría estar relacionado con la solubilidad del mercurio en diferentes condiciones de concentración.

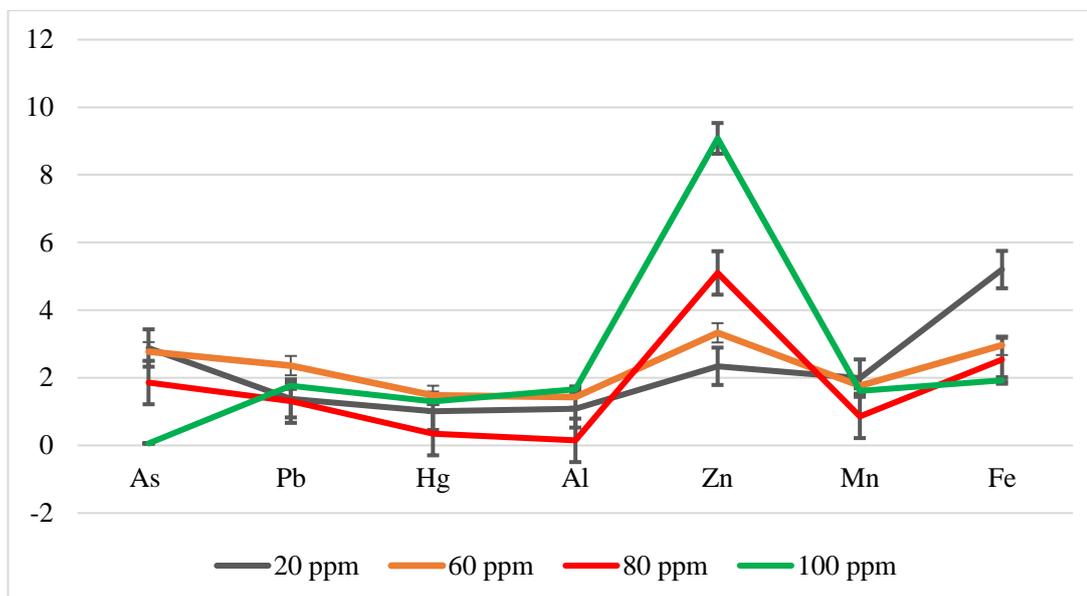
Otros Metales: Los metales como aluminio (Al), zinc (Zn), manganeso (Mn) y hierro (Fe) también muestran variaciones en sus concentraciones según la concentración inicial de la muestra. Algunos de ellos presentan aumentos lineales con la concentración inicial, mientras que otros muestran patrones más complejos.

Es importante destacar que la interpretación de estos resultados debe considerar no solo las concentraciones absolutas de los metales pesados, sino también su toxicidad relativa, los límites establecidos por las normativas ambientales y los posibles efectos sinérgicos o antagonistas entre los metales presentes en la muestra. Se recomienda realizar un análisis más detallado y consultas con expertos en el tema para una evaluación completa de la calidad del agua y los riesgos asociados a la presencia de metales pesados (Ramirez y Copa, 2020).

Concentración para 20, 60, 80 y 100 ppm

Figura 18

Concentración para 20, 60, 80 y 100 ppm



4.2.1 Análisis de varianza

Se ha realizado el análisis de varianza con un nivel de significancia al 95 % para todos los elementos como: As, Pb, Hg, Al, Zn, Mn y Fe (Ntwampe y Moothi, 2019).

Tabla 16

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	6	47,65	7,942	4,05	0,008
Error	21	41,22	1,963		
Total	27	88,87			

En la Tabla 16 se calculó el valor de la probabilidad con un nivel de significancia del 0,05 empleando el método de suma de cuadrados y considerando el grado de libertad. A partir de estos cálculos, se obtuvo un valor del estadístico F de Fisher de 4,05 lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula planteada. (Cánovas et al., 2022) obtuvieron un análisis de varianza con un nivel de significancia de 95%.

Tabla 17

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,40095	53,62%	40,37%	17,55%

En la tabla 17 se presenta un análisis del modelo S, evidenciando un coeficiente relevante de 1,40095. Los coeficientes de determinación R cuadrado y R cuadrado ajustado alcanzan el 53,62 % y 40,37 % respectivamente. Se incluye también el R de predicción con un valor de 17,55 %. Estos aciertos sugieren una adecuada capacidad del modelo para explicar la variabilidad observada en los datos, lo que indica un buen ajuste del modelo propuesto (Muñoz et al., 2022).

Tabla 18

Medidas de tendencia, desviación estándar e índice de confiabilidad

Metales	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
As	4	1,893	1,304	(0,436; 3,349)
Pb	4	1,702	0,481	(0,246; 3,159)
Hg	4	1,035	0,496	(-0,422; 2,492)
Al	4	1,08	0,664	(-0,377; 2,537)
Zn	4	4,96	2,97	(3,51; 6,42)
Mn	4	1,555	0,489	(0,098; 3,012)
Fe	4	3,155	1,429	(1,698; 4,612)

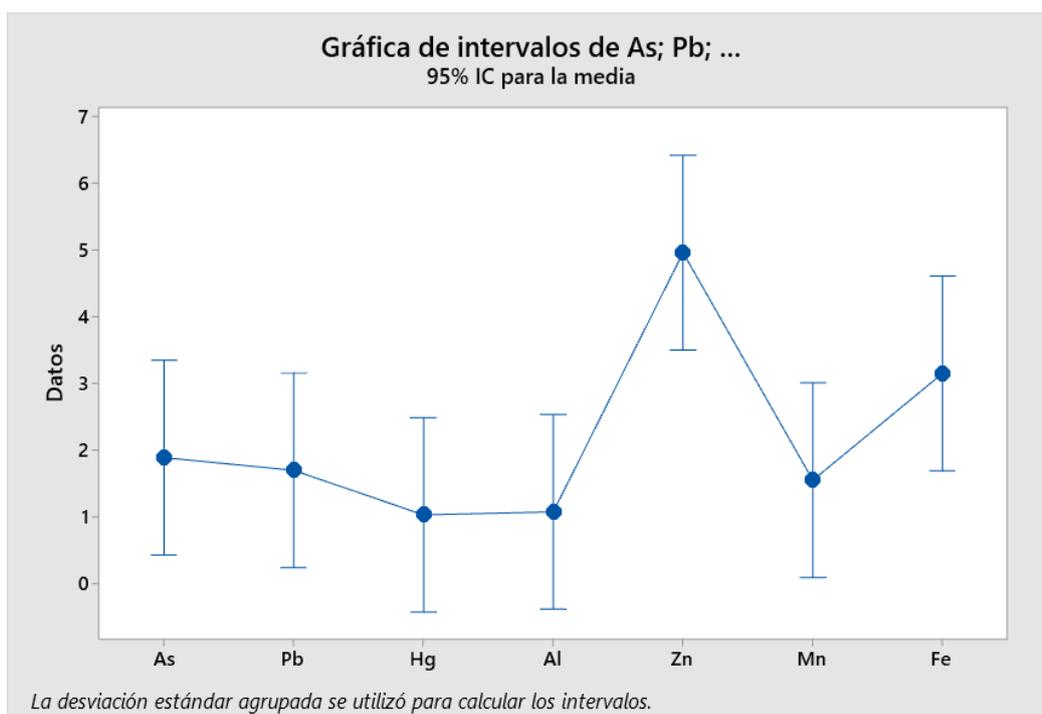
Desviación Estándar agrupada = 1,40095

La tabla 18 presenta un resumen estadístico que incluye la media, la desviación estándar y los intervalos de confianza al 95 % para cuatro diferentes tamaños de muestra (N = 4), (Yasmin et al., 2022). Para una mezcla de 20, 60, 80 y 100 ppm de caolinita, la media para el As es de 1,893 con una desviación estándar de 1,304 entre un intervalo de confianza que varía de (0,436; 3,349), para el metal plomo alcanzó una media de 1,702 con una desviación estándar de 0,481

y con un intervalo de confianza de (0,246; 3,159), para el Mercurio similar a lo anterior alcanzó una media 1,035, desviación estándar de 0,496, el intervalo de confianza entre (-0,422; 2,492), para el aluminio el tamaño de muestra fue 4 con una media de 1,08, una desviación estándar de 0,664 y un intervalo de confianza (IC) de (-0,377; 2,537), para Zn un numero de 4 repeticiones una media de 4,96 con la desviación estándar que logró 2,97, con un IC de (3,51; 6,42), para Mn de igual manera logro obtener una media de 1,555, con una desviación estándar de 0,489, un IC entre (0,098; 3,012), por ultimo para Fe se analizó en 20, 60, 80 y 100 ppm de concentraciones logrando obtener una media de 3,155 con una desviación estándar de 1,429 con un intervalo de confianza entre (1,698; 4,612) (Abaka et al., 2024).

Figura 19

Intervalos de desviación estándar para metales



La figura 19 representa la desviación estándar agrupada para cada elemento que se ha analizado así como As, Pb, Hg, Al, Zn, Mn y Fe, se ha considerado el intervalo de confianza al 95 %, así mismo (Rouliá et al., 2022) en su trabajo de investigación realizaron el cálculo de la media con un intervalo de 95 %.

CONCLUSIONES

OG: En la determinación del efecto de la caolinita “Chaco”, su capacidad en la neutralización del pH de las aguas acidas de mina y la acumulación de metales pesados ha contribuido en la mitigación del impacto ambiental, lo que sería una alternativa prometedora para futuras investigaciones en la remediación ambiental.

OE1: Inicialmente los parámetros fisicoquímicos de las aguas acidas en la bocamina Candelaria, alcanzaron valores de; pH (3,39), ORP (104,1), OD ppm (5,71), $\mu\text{S}/\text{cm}$ (860), TDS ppm (428). Y después de realizar el tratamiento con la caolinita “Chaco”, utilizándose 100 ml de agua acida con una concentración de 100 ppm de caolinita, a 200 rpm en un tiempo 15 minutos, se logró obtener un pH de 5,02, un ORP de 80,45, TDS ppm 800, $\mu\text{S}/\text{cm}$ 12,99 y OD ppm 2,78. Se efectuó un pronóstico de 8 eventos de tiempo para cada parámetro fisicoquímico, en donde manifestó un pH de 6,11 en un tiempo de 31 minutos. Los resultados fueron favorables lo que demuestra la eficacia de la caolinita “Chaco” en la neutralización del drenaje ácido de mina.

OE2: Una cantidad de 100 ppm de caolinita “Chaco” en 100 ml de agua acida, reportaron valores de reducción de la concentración inicial de metales pesados del 98.51% en As, 79.79% en Pb, 77.62% en Hg, 59.21% en Al, 54.51% en Mn, y 76.49% en Fe, en un tiempo de contacto de 15 min, lo que garantiza resultados favorables y consistentes para la remediación del drenaje acido de mina.



RECOMENDACIONES

Realizar los estudios de campo a largo plazo en el sitio minero de la SRM Acumulación los Rosales, para la optimización de procesos de tratamiento, investigar diferentes métodos de aplicación de la caolinita "Chaco" para maximizar su eficacia en la neutralización del pH y la acumulación de metales pesados. Esto podría incluir la optimización de dosis, métodos de aplicación y condiciones de reacción.

Continuar investigando y optimizar los procesos de tratamiento utilizando caolinita "Chaco", estableciendo programas de monitoreo a largo plazo para evaluar la eficacia continua del tratamiento con caolinita "Chaco" y su impacto en el medio ambiente, esto ayudaría a garantizar la sostenibilidad de las prácticas de remediación ambiental en el tiempo.

Realiza investigaciones adicionales para comprender mejor los mecanismos de adsorción de la caolinita para cada metal pesado individualmente, determinar la dosis óptima de caolinita y las condiciones de tratamiento más efectivas para lograr la máxima remoción de metales pesados.

BIBLIOGRAFÍA

- Abaka, G. B., Xu, S., Ayedzi, L. D., Addai, J., y Skinner, W. (2024). Flotation recovery of monazite from kaolinite using sodium oleate collector: Understanding mineral-collector interaction. *Minerals Engineering*, 209(February), 108605. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.108605>
- Acharya, B. S., y 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>
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., y Cruz, R. K. (2019). Alternative for the treatment of magdalena river's water in palermo Colombia. *Informacion Tecnologica*, 29(3), 59–70. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>
- An, W., Liu, Y., Chen, H., Wang, Q., Hu, X., y Di, J. (2024). Oyster shell-modified lignite composite in globular shape as a low-cost adsorbent for the removal of Pb²⁺ and Cd²⁺ from AMD: Evaluation of adsorption properties and exploration of potential mechanisms. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(5), 105732. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105732>
- Azizi, S., Beauclair, N., Maaza, M., Mokrani, T., Ambushe, A. A., Seopela, M. P., y Msagati, M, A. T. (2024). Acid mine drainage treatment and metals recovery by means of selective precipitation using magnesium oxide (MgO): An experimental study. *Groundwater for Sustainable Development*, 25(August 2023), 101151. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101151>
- Azzam, M. A., Rizwan Khan, M., y 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>
- Bazan, D. Y. (2020). Eficiencia de canales con dos diámetros de roca caliza en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas del Río Negro, captadas a través del cana Mátara en el sector Canrey Chico, Distrito y Provincia de Recuay -Áncash, periodo s [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. In *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*.

<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4240>

- Bernal, Á. F., García, L. M., Cevallos, J. D., Acuña, M. del R., Manrique, T. O., y Macías, T. M. (2019). Elementos de química básica (C. y Letras (ed.); Primera ed). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17993/CcyL1.2018.32>
- Biamont, I. E. (2022). Heterogeneidade espacial ecotoxicológica de metais e suas implicações em reservatórios paulistas (Brasil) e para o lago Titicaca (Perú) [Universidad Estadual Paulista]. <http://hdl.handle.net/11449/237390>
- Boula, A., Laporte-Magoni, C., Gunkel-Grillon, P., Bour, O., y Selmaoui-Folcher, N. (2022). Potential contamination of stream waters by ultramafic mining sediments: Identification of geochemical makers (New Caledonia). *Journal of Geochemical Exploration*, 232(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106879>
- Buford Parks, V. M., McQuarrie, N., Falkowski, S., Perez, N. D., y Ehlers, T. A. (2023). Timing and drivers of exhumation and sedimentation in the eastern Peruvian Andes: Insights from thermokinematic modelling. *Earth and Planetary Science Letters*, 620, 118355. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2023.118355>
- Cánovas, C. R., Basallote, M. D., Macías, F., Freydier, R., Parviainen, A., y Pérez-López, R. (2022). Thallium distribution in an estuary affected by acid mine drainage (AMD): The Ría de Huelva estuary (SW Spain). *Environmental Pollution*, 306(May). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119448>
- Chai, Y., Qin, P., Zhang, J., Wu, Z., Li, T., Xu, W., y 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>
- Chen, H., Xiao, T., Ning, Z., Li, Q., Xiao, E., Liu, Y., Xiao, Q., Lan, X., Ma, L., y 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>
- Cravotta, C. A. (2021). Interactive PHREEQ-N-AMDTreat water-quality modeling tools to evaluate performance and design of treatment systems for acid mine drainage.

- Applied Geochemistry, 126(September 2020), 104845.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104845>
- Du, T., Bogush, A., Mašek, O., Purton, S., y Campos, L. C. (2022). Algae, biochar and bacteria for acid mine drainage (AMD) remediation: A review. *Chemosphere*, 304(June). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135284>
- Dutta, M., Islam, N., Rabha, S., Narzary, B., Bordoloi, M., Saikia, D., Silva, L. F. O., y 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>
- 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>
- Google, E. (n.d.). [Dirección de Google Maps para manejar desde Sandia, Perú hasta la quebrada San Blas, Yanahuaya]. Recuperado el 25 de octubre del 2023, de <https://earth.google.com/web/?hl=es-419>
- Gržinić, G., Piotrowicz-Cieślak, A., Klimkowicz-Pawlas, A., Górny, R. L., Ławniczek-Wałczyk, A., Piechowicz, L., Olkowska, E., Potrykus, M., Tankiewicz, M., Krupka, M., Siebielec, G., y Wolska, L. (2023). Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health. *Science of the Total Environment*, 858(October 2022). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160014>
- Habib, M. A., Reza, A. H. M. S., Hasan, M. I., Ahsan, M. A., Moniruzzaman, M., Hasan, A. B., Shofi, S. I., y Hridoy, K. M. (2024). Evaluating arsenic contamination in northwestern Bangladesh: A GIS-Based assessment of groundwater vulnerability and human health impacts. *Heliyon*, 10(6), e27917. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27917>
- Hadi, S., Pratiwi, E. P. A., y Wignyosukarto, B. S. (2024). The dynamic of pH and EC in the Katingan tidal irrigation system, under influences of acid water, brackish water, and tidal movement. *Water Cycle*, 5(February), 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2024.02.003>

- Hansson, N. L., Saleh, M., Tam, P. L., Holgersson, S., Spahiu, K., y 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>
- Huaman, P. (2019). Aplicación del sistema de neutralización con piedra caliza para el proyecto de abastecimiento de agua potable en la comunidad Pias Tusine grande Lampa Puno – 2015. [Universidad Alas Peruanas]. <https://repositorio.uap.edu.pe/jspui/bitstream/20.500.12990/908/1/>
- Huisa, F. (2023). Dren anóxico calizo para el tratamiento de aguas ácidas de mina - acumulación los rosales [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20748>
- Jiménez, P. J., y 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>
- kaur, R., Garkal, A., Sarode, L., Bangar, P., Mehta, T., Singh, D. P., y Rawal, R. (2024). Understanding arsenic toxicity: Implications for environmental exposure and human health. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 5(September 2023), 100090. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2023.100090>
- Liu, Q., Chen, B., Haderlein, S., Gopalakrishnan, G., y Zhou, Y. (2019). Characteristics and environmental response of secondary minerals in AMD from Dabaoshan Mine, South China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 155(February), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.017>
- Ma, L., Zhao, H., Wu, L. B., Cheng, Z., y Liu, C. (2023). Impact of the microbiome on human, animal, and environmental health from a One Health perspective. *Science in One Health*, 2(January), 100037. <https://doi.org/10.1016/j.soh.2023.100037>
- Măicăneanu, A., Bedelea, H., Ardelean, M., Burcă, S., y Stanca, M. (2019). Haneş and Valea Vinului (Romania) closed mines Acid Mine Drainages (AMDs) - Actual condition and passive treatment remediation proposal. *Chemosphere*, 93(7),

1400–1405. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.003>

- Mamani, W. (2019). Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la mina La Rinconada - Puno [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11993>
- Masindi, V., Gitari, M. W., Tutu, H., y DeBeer, M. (2019). Synthesis of cryptocrystalline magnesite–bentonite clay composite and its application for neutralization and attenuation of inorganic contaminants in acidic and metalliferous mine drainage. *Journal of Water Process Engineering*, 15, 2–17. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.11.007>
- Masindi, V., Osman, M. S., y Shingwenyana, R. (2019). Valorization of acid mine drainage (AMD): A simplified approach to reclaim drinking water and synthesize valuable minerals-Pilot study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103082. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103082>
- Merchichi, A., Hamou, M. O., Edahbi, M., Bobocioiu, E., Neculita, C. M., y 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>
- Moodley, I., Sheridan, C. M., Kappelmeyer, U., y Akcil, A. (2019). 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.2019.08.008>
- Moreroa, M., Falayi, T., Ntuli, F., y Magwa, N. (2022). Studies towards the adsorption of sulphate ions from acid mine drainage by modified attapulgite clays. *South African Journal of Chemical Engineering*, 42(February), 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.08.011>
- Muñoz, A., Arbeli, Z., Boyacá, V., y Vanegas, J. (2022). Metagenomic and genomic characterization of heavy metal tolerance and resistance genes in the rhizosphere microbiome of *Avicennia germinans* in a semi-arid mangrove forest in the tropics. *Marine Pollution Bulletin*, 184(September).

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114204>

- Muñoz, N. C., González-Álvarez, D., Jaramillo, A. C., Soto-Ospina, A., y Ruiz, Á. A. (2023). Toxicological risk in individuals exposed to methylmercury and total mercury through daily-consumed foodstuffs in one of the mining regions of Bajo Cauca, Antioquia, Colombia. *Emerging Contaminants*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100226>
- Munyai, R., Ogola Oduor, H. J., Wambui Kimani, V., y Modise, D. M. (2024). Unlocking water potential in drylands: Quicklime and fly ash enhance soil microbiome structure, ecological networks and function in acid mine drainage water-irrigated agriculture. *Heliyon*, 10(6), e27985. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27985>
- Mutlu, M., Simsek, U. G., Iflazoglu, S., Yilmaz, A., Karabulut, B., Incili, C. A., Cevik, A., Incili, G. K., Seven, P. T., y Iflazoglu Mutlu, S. (2024). Potential effect dietary supplementation of calcium tetraborate in quails exposed to cadmium: Its impact on productive performance, oxidative stress, cecal microflora, and histopathological changes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 270(December 2023), 115883. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115883>
- Nduka, J. K., Kelle, H. I., Umeh, T. C., Okafor, P. C., Iloka, G. C., y Okoyomon, E. (2023). Ecological and health risk assessment of radionuclides and heavy metals of surface and ground water of Ishiagu–Ezillo quarry sites of Ebonyi, Southeast Nigeria. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10(May), 100307. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100307>
- Niskanen, J., Lahtinen, M., y 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>
- Ntwampe, I. O., y Moothi, K. (2019). Reaction dynamics of bentonite clay, FeCl₃, Al₂(SO₄)₃ and Na₂CO₃ dosage in AMD using varying dispersion techniques. *Journal of Environmental Management*, 231(July 2018), 552–561. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.019>

- Pastor, W. (2023). Concentración de mercurio de tres especies *Bellucia pentamera* N. *Kniphobia pauciflora* B. y *Weinmannia* sp. L. de la provincia de Sandia, 2023 [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21056>
- Raj, K., y Das, A. P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5(December 2022), 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., y 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.ese.2020.100024>
- Ramirez, G. F., y Copa, V. J. (2020). Phasa: todo sobre la arcilla comestible. *Revista Científica Ciencia Medica*, 23(2), 240–246. <https://doi.org/10.51581/rccm.v23i2.6>
- Rezaie, B., y 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>
- Rodríguez-Zapata, M. A., Agudelo, C. A. R., y Ahrens, M. J. (2024). Analysis of social perception and field verification as a route for the evaluation of environmental liabilities in Colombia: Cesar case study. *World Development Sustainability*, 4(January 2023), 100133. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100133>
- Rodríguez, R., Sánchez, E., Choquehuanca, S., Fabián, C., y Del Castillo, B. (2020). Geología de los cuadrángulos de Puno (hojas 32v1, 32v2, 32v3, 32v4) y Ácora (hojas 32x1, 32x2, 32x3 y 32x4) (Primera ed). Ingemmet. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe>
- Roulia, M., Alexopoulos, D., Itskos, G., y Vasilatos, C. (2022). Lignite fly ash utilization for acid mine drainage neutralization and clean-up. *Cleaner Materials*, 6(September), 100142. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100142>
- SENAMHI. (2022). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 2022a.

<https://www.gob.pe/senamhi>

- Serrano, R., Grindlay, G., Gras, L., y Mora, J. (2021). Insight into the origin of carbon matrix effects on the emission signal of atomic lines in inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 177(May 2020), 106070. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2021.106070>
- Silva, D., Weber, C., y 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>
- Thomas, G., Sheridan, C., y Holm, P. E. (2024). Rare earth element (REE) and arsenic mobility in acid mine drainage (AMD) impacted soil. *Geoderma*, 443(October 2023), 116817. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116817>
- Vargas, H., Soto, D., y Hinojosa, L. A. (2021). Tratamiento de aguas ácidas de mina. *Scientific Research Journal CIDI*, 1(2), 175–185. <https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i2.54>
- Vásquez, E. E., Hernández, G. R., Vargas Saavedra, J. A., y Villegas, H. J. (2024). Ethanol extraction desalination Test Using Pre-Treated Mine wastewater concentrated by reverse osmosis. *Journal of Hazardous Materials*, 123965. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100208>
- Xu, Q., Yang, C., Wang, J., Wang, X. Q., Wang, S., Gao, Y., Chuai, X., Liu, B., y Yue, Z. (2022). Evolution of mineral phase in the chemical neutralization process of Mn dominated acid mine drainage under different aeration conditions. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7(May), 100090. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100090>
- Yang, J., Wang, J., Liao, X., Tao, H., y Li, Y. (2022). Chain modeling for the biogeochemical nexus of cadmium in soil–rice–human health system. *Environment International*, 167(July), 107424. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107424>
- Yasmin, F., Sakib, T. U., Emon, S. Z., Bari, L., y Sultana, G. N. N. (2022). The



physicochemical and microbiological quality assessment of Maddhapara hard rock-mine discharged water in Dinajpur, Bangladesh. *Resources, Environment and Sustainability*, 8(February 2021), 100061. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100061>

Zunino, F., Palacios, M., Bowen, P., y Scrivener, K. (2024). Surface properties of clinker phases and clay minerals characterized by inverse gas chromatography (IGC) and their link to reactivity. *Cement and Concrete Research*, 178(December 2023), 107458. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107458>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PRUEBA ESTADÍSTICA
<p>Problema general ¿Cuál será el efecto de la caolinita “Chaco” en la remediación del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno?</p> <p>Problemas específicos PE1. ¿Como será el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”?</p> <p>PE2. ¿Cuál será la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno?</p>	<p>Hipótesis general Existe el efecto positivo de la caolinita “Chaco” en la remediación del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno.</p> <p>Hipótesis específicas HE1. El comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos varían antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”.</p> <p>HE2. La concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” interviene en el aumento de pH del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno.</p>	<p>Objetivo general Determinar el efecto de la caolinita “Chaco” en la remediación del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno.</p> <p>Objetivos específicos OE1. Comparar el comportamiento del pH y parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el tratamiento con la caolinita “Chaco”.</p> <p>OE2. Determinar la concentración de metales y tiempo óptimo de contacto con la caolinita “Chaco” del drenaje ácido de la SMRL Acumulación Los Rosales – Puno.</p>	<p>Variable independiente Efecto de la caolinita “Chaco”</p> <p>Variable dependiente Remediación de drenaje ácido de mina.</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Método: Descriptivo.</p> <p>Tipo de investigación: Básica.</p> <p>Diseño: No experimental</p> <p>Población: Área de 50 Há, operaciones y pasivos ambientales.</p> <p>Muestra: Volumen de 50 galones de agua acida de mina.</p>	<p>Técnica: Recolección de datos, monitoreo, ensayos de laboratorio, y análisis estadístico.</p> <p>Instrumento: Equipos de laboratorio medio ambiental.</p> <p>Análisis de datos: Tabulación de datos mediante, software Minitab versión 19.</p>

Anexo 2. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Anexo 3. 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 irroque 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:

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el artículo 32° de la Ley N° 28611 modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permissible - LMP, corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por éste y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, modificado por el Decreto Legislativo N° 1039, establece como función específica de dicho Ministerio elaborar los ECA y LMP, de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 011-96-EM-VMM, se aprobaron los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos;

Que, el conocimiento actual de las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contiene los efluentes líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en la que éstos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los LMP se actualicen para las Actividades Minero-Metalúrgicas, a efecto que cumplan con los objetivos de protección ambiental;

Que, el Ministerio de Energía y Minas ha remitido una propuesta de actualización de LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, la misma que fue publicada para consulta y discusión pública en el Diario Oficial El Peruano habiéndose recibido comentarios y observaciones que han sido debidamente meritados;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°.- Objeto

Aprobar los Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 01 que forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación

El presente Decreto Supremo es aplicable a todas las actividades minero-metalúrgicas que se desarrollen dentro del territorio nacional.

Artículo 3°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 **Autoridad Competente.**- Autoridad que ejerce las funciones de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica. En el caso de la gran y mediana minería dicha Autoridad Competente es el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para la pequeña minería y minería artesanal son los Gobiernos Regionales.

3.2 **Efluente Líquido de Actividades Minero - Metalúrgicas.**- Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el

desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;

b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;

d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;

e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

3.3 **Ente Fiscalizador.**- Autoridad que ejerce las funciones de fiscalización y sanción de la actividad minera-metalúrgica; para la gran y mediana minería será el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN, hasta que el Organismo de Evaluación y Fiscalización del Ambiente - OEFA asuma dichas funciones, y para la pequeña minería y minería artesanal de los Gobiernos Regionales.

3.4 **Límite Máximo Permissible (LMP).**- Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental.

3.5 **Límite en cualquier momento.**- Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Para la aplicación de sanciones por incumplimiento del límite en cualquier momento, éste deberá ser verificado por el fiscalizador o la Autoridad Competente mediante un monitoreo realizado de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

3.6 **Límite promedio anual.**- Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

3.7 **Monitoreo de Efluentes Líquidos.**- Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un Punto de Control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

3.8 **Parámetro.**- Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.

3.9 **Punto de Control de Efluentes Líquidos.**- Ubicación aprobada por la Autoridad Competente en la cual es obligatorio el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles.

3.10 **Programa de Monitoreo.**- Documento de cumplimiento obligatorio por el titular minero, contiene la ubicación de los puntos de control de efluentes y cuerpo receptor, los parámetros y frecuencias de monitoreo de cada punto para un determinado centro de actividades minero - metalúrgicas.

Es aprobado por la Autoridad Competente como parte de la Certificación Ambiental y puede ser modificado por ésta de oficio o a pedido de parte, a efectos de eliminar, agregar o modificar puntos de control del efluente y cuerpo

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
- Manganeso
- 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 Secretaria 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 LOGÍSTICA 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 Secretaria 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 4. Resultados de parámetros fisicoquímicos



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>PROCEDENCIA: Aguas acidas de mina de la labor Candelaria Acumulación Los Rosales</p> <p>PROYECTO DE TESIS: "EFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS ROSALES - PUNO"</p>	<p>CODIGO DE LABORATORIO: L01- LA136</p> <p>N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES</p> <p>FECHA DE MUESTREO: 14/02/2024</p> <p>TIPO DE SERVICIO: Único</p> <p>SOLICITANTE: AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS</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: 01/01</p>	<p>TEMPERATURA DEL RECIENTE:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Ambiente <input type="checkbox"/> Refrigeración</p> <p>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 14/02/2024</p>
--	--

I.- RESULTADO ANALISIS

N°	Parámetros	Resultados
01	mVpH	214.8
02	pH	3.39
03	mVORP	104.1
04	%DO	85.8
05	ppmDO	5.71
06	μS/cm	860
07	μScm ^A	633
08	MΩ.cm	0.0012
09	ppmTDS	428
10	PSU	0.45
11	σt	0.00
12	°C	12.33
13	PSI	9.271



JEFE DEL LABORATORIO LMEA
 UNA-PUNO-CIP-25768



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
PROYECTO DE TESIS: "EFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS ROSALES - PUNO"
CODIGO DE LABORATORIO: L01-LA136
N° ORDEN: LMEA 4210 - MP - AES
FECHA DE MUESTREO: 20/02/2024
TIPO DE SERVICIO: Único
SOLICITANTE: AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

TIPO DE MUESTRA: Agua
DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de parámetros fisicoquímicos
CANTIDAD DE MUESTRAS: 01/01
TEMPERATURA DEL RECIPIENTE:
 Ambiente
 Refrigeración
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 20/02/2024

I.- RESULTADO ANALISIS

Capacidad ml	Concentración ppm	RPM	TIEMPO min	pH	ORP mV	TDS ppm	Conduc $\mu\text{S/cm}$	OD ppm
100	20	200	5	4.06	98.00	1036	2068	3.24
100	20	200	7	4.07	97.50	1035	2064	3.25
100	20	200	9	4.09	97.30	1034	2054	3.35
100	20	200	11	4.12	97.30	1033	2045	3.41
100	20	200	13	4.16	97.20	1031	2035	3.42
100	20	200	15	4.20	97.00	1025	2025	3.45



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



INFORME DE ANÁLISIS

N° 10-LA136

<p>ASUNTO: Análisis fisicoquímico con el multiparámetro HANNA HI98199</p> <p>PROCEDENCIA: Aguas acidas de mina de la labor Candelaria Acumulación Los Rosales</p> <p>PROYECTO DE TESIS: "EFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS ROSALES - PUNO"</p>	<p>CODIGO DE LABORATORIO: L01- LA136</p> <p>N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES</p> <p>FECHA DE MUESTREO: 23/02/2024</p> <p>TIPO DE SERVICIO: Único</p> <p>SOLICITANTE: AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS</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: 01/01</p>	<p>TEMPERATURA DEL RECIPIENTE: <input checked="" type="checkbox"/> Ambiente <input type="checkbox"/> Refrigeración</p>
--	---

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 23/02/2024

I.- RESULTADO ANALISIS

Capacidad ml	Concentración ppm	RPM	TIEMPO min	pH	ORP mV	TDS ppm	Conduc $\mu\text{S}/\text{cm}$	OD ppm
100	60	200	5	4.11	99.10	965	1929	3.48
100	60	200	7	4.13	98.30	954	1922	3.45
100	60	200	9	4.15	98.10	950	1919	3.40
100	60	200	11	4.18	97.30	920	1915	3.35
100	60	200	13	4.20	97.00	915	1912	3.30
100	60	200	15	4.26	96.56	910	1911	3.28



M.Sc. Frida Huisa Mamani
JEFE DEL LABORATORIO L.M.E.A.
UNA - PUNO - PERU - CIP. 28768



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



INFORME DE ANÁLISIS
N° 11-LA136

<p>ASUNTO: Análisis fisicoquímico con el multiparámetro HANNA HI98199</p> <p>PROCEDENCIA: Aguas acidas de mina de la labor Candelaria Acumulación Los Rosales</p> <p>PROYECTO DE TESIS: "EFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS ROSALES - PUNO"</p>	<p>CÓDIGO DE LABORATORIO: L01-LA136</p> <p>N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES</p> <p>FECHA DE MUESTREO: 26/02/2024</p> <p>TIPO DE SERVICIO: Único</p> <p>SOLICITANTE: AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS</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: 01/01</p>	<p>TEMPERATURA DEL RECIPIENTE:</p> <p>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 26/02/2024</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Ambiente</p> <p><input type="checkbox"/> Refrigeración</p>
--	---	---

I.- RESULTADO ANALISIS

Capacidad ml	Concentración ppm	RPM	TIEMPO min	pH	ORP mV	TDS ppm	Conduc $\mu\text{S/cm}$	OD ppm
100	80	200	5	4.18	93.40	928	1856	3.50
100	80	200	7	4.20	93.35	925	1846	3.48
100	80	200	9	4.21	93.25	920	1836	3.45
100	80	200	11	4.23	92.98	915	1820	3.35
100	80	200	13	4.26	91.95	910	1798	3.20
100	80	200	15	4.30	91.45	900	1745	3.10

M.Sc. *Edel Huay Wamani*
 JEFE DEL LABORATORIO L.M.E.A.
 UNA-PUNO-CIP.28769



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



INFORME DE ANÁLISIS

N° 12-LA136

ASUNTO: Análisis fisicoquímico con el multiparámetro
HANNA HI98199

PROCEDENCIA: Aguas acidas de mina de la labor
Candelaria Acumulación Los Rosales

PROYECTO DE TESIS: "EFECTO DEL CAOLIN
(CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE
ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS
ROSALES - PUNO"

CODIGO DE LABORATORIO: L01-LA136

N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES

FECHA DE MUESTREO: 26/02/2024

TIPO DE SERVICIO: Único

SOLICITANTE: AMILCAR GIOVANNY

TERAN DIANDERAS

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

TIPO DE MUESTRA: Agua

TEMPERATURA DEL RECIENTE:

DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de parámetros
fisicoquímicos

Ambiente
 Refrigeración

CANTIDAD DE MUESTRAS: 01/01

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 26/02/2024

I.- RESULTADO ANALISIS

Capacidad ml	Concentración ppm	RPM	TIEMPO min	pH	ORP mV	TDS ppm	Conduc µS/cm	OD ppm
100.00	100	200	5	4.31	84.30	914	1,511	3.48
100.00	100	200	7	4.45	83.98	910	1,410	3.28
100.00	100	200	9	4.65	83.48	908	1,400	3.10
100.00	100	200	11	4.75	82.98	900	1,398	3.08
100.00	100	200	13	4.85	82.65	825	1,378	2.98
100.00	100	200	15	5.02	80.45	800	1,299	2.78



M.Sc. Félix Huasa Mamani
JEFE DEL LABORATORIO L.M.E.A.
PUNO - PERÚ
CIP.26768

Anexo 5. Análisis de metales pesados por espectrofotómetro de emisión atómica



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



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA N° 13-LA136

ASUNTO: Análisis de metales pesados por Espectrofotómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas 4210 MP-AES
PROCEDENCIA: Aguas acidas de mina de la labor Candelaria Acumulación Los Rosales
PROYECTO DE TESIS: "EFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS ROSALES - PUNO"

CODIGO DE LABORATORIO: L01LA136
N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES
FECHA DE INGRESO: 20/02/2024
TIPO DE SERVICIO: Único
SOLICITANTE: AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

EMPAQUE PRIMARIO: Botella de plástico transparente
TIPO DE MUESTRA: AGUA
DESCRIPCION DEL SOLICITANTE: Análisis de Metales de Pesados
CANTIDAD DE MUESTRAS: 01/01

TEMPERATURA DEL RECIPIENTE: Ambiente Refrigeración
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 21/02/2024

I.- RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA

MUESTRA	As	Pb	Hg	Al	Zn	Mn	Fe	Método de Ensayo
	197.198 ppm	405.781 ppm	546.074 ppm	396.152 ppm	213.857 ppm	279.827 ppm	371.993 ppm	
Agua_Mina	4.03	5.71	5.81	4.07	1.75	3.54	8.17	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES



M.Sc. Félix Muleta Mamani
JEFE DEL LABORATORIO L.M.E.A.
PUNO-CIB.28708



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



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA
N° 14-LA136

ASUNTO: Análisis de metales pesados por Espectrofotómetro de Emisión Atómica por Plasma Microondas 4210 MP-AES
PROCEDENCIA: Aguas acidas de mina de la labor Candelaria Acumulación Los Rosales

PROYECTO DE TESIS: "EFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACION DEL DRENAJE ACIDO DE LA SMRL ACUMULACION LOS ROSALES - PUNO"

CODIGO DE LABORATORIO: L01LA136
N° ORDEN: LMEA - 4210 - MP - AES

FECHA DE INGRESO: 14/02/2024

TIPO DE SERVICIO: Único

SOLICITANTE: AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS

INFORMACIÓN DE LA MUESTRAS AGUA

EMPAQUE PRIMARIO: Botella de plástico transparente

TEMPERATURA DEL RECIPIENTE:

Ambiente
 Refrigeración

TIPO DE MUESTRA: AGUA

DESCRIPCIÓN DEL SOLICITANTE: Análisis de Metales de Pesados

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 18/03/2024

CANTIDAD DE MUESTRAS: 01/01

I.- RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA

MUESTRA	Tiempo 20 min							Método de Ensayo
	As	Pb	Hg	Al	Zn	Mn	Fe	
	197.198 ppm	405.781 ppm	546.074 ppm	396.152 ppm	213.857 ppm	279.827 ppm	371.993 ppm	
20 ppm	2.88	1.38	1.01	1.08	2.34	1.99	5.2	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES
60 ppm	2.77	2.36	1.48	1.43	3.33	1.76	2.96	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES
80 ppm	1.86	1.31	0.35	0.15	5.1	0.86	2.54	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES
100 ppm	0.06	1.76	1.3	1.66	9.08	1.61	1.92	Por digestión Multi acida 4210 MP-AES



M.Sc Fidel Huisa Mamani
JEFE DE LABORATORIO L.M.E.A
UNA-PUNO INSCIP.28768

Anexo 6. Certificado de operatividad del plasma microondas 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 RIOS
FIELD SERVICE SPECIALIST

M.Sc. Fidel Huasa Mamani
JEFE DE LABORATORIO DE MONITOREO
CALIDAD AMBIENTAL DE LA FM UNA-P

Anexo 7. Certificado de calibración del plasma microondas 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 metrológicas 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	 EDWIN FRANCISCO GUILLEN MESTAS	 HENRY DÍAZ CHONATE

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Las Camelias N° 815, San Isidro, Lima - Perú
Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe

Anexo 8. Panel fotográfico



Visita de SMRL Acumulación Los Rosales que es una empresa peruana productora de metales preciosos que realiza actividad minera está ubicado a 4,000 msnm en Vilque, Puno a través de la Planta Metalúrgica.



Toma de parámetros fisicoquímicos con el equipo Multiparámetro Hanna Instruments (HI9829) llenando la cadena de custodia in- situ de la bocamina de labor Candelaria junto

con el personal de Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano.



Para la recolección se realizó de manera cuidadosa, tomando en cuenta los respectivos protocolos de muestreo, se tomó envases cilíndricos de polipropileno previamente esterilizados de 50 galones con su respectiva cadena de custodia.



Se realizaron la toma de datos de los parámetros fisicoquímicos con el apoyo de un equipo Multiparámetro Hanna Instruments HI9829, utilizando un registro de datos en las pozas de sedimentación.

Anexo 9. Preparación de la caolinita – chaco en LMEA



Pesado de caolinita – chaco de 250 g, luego se realizó la pulverización hasta obtener malla – 400 en el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental en la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNA-Puno.



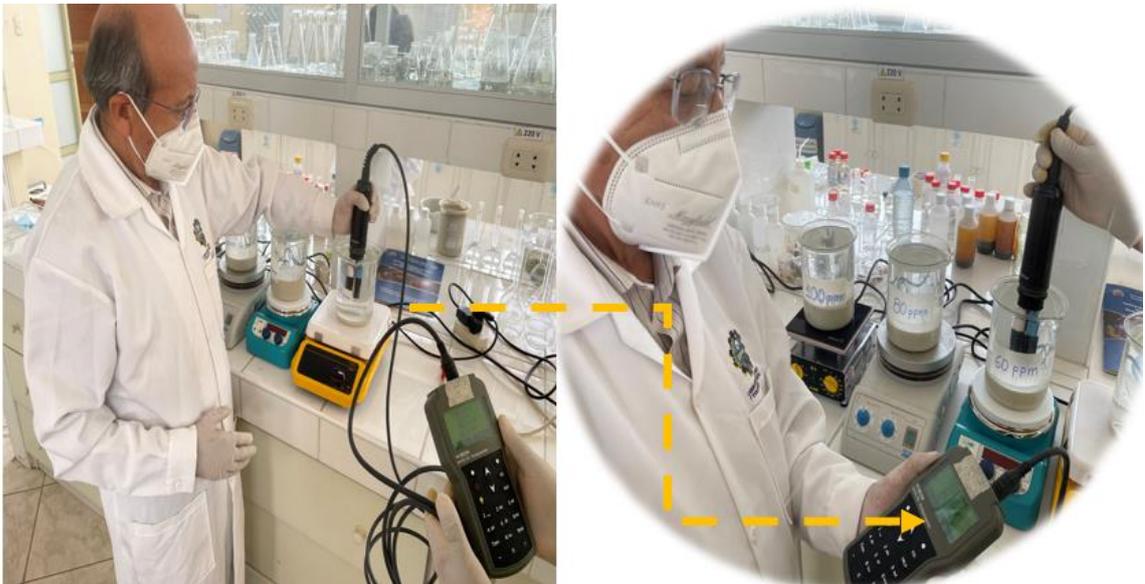
Molienda, trituración y pulverización de la caolinita hasta obtener partículas muy pequeñas para facilitar su posterior procesamiento en las pruebas de Test- Jarr



Tanto la pulverización como la licuación de Caolinita – Chaco son procesos fundamentales para el proceso de la disolución en el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental.



Se preparo la caolinita o chaco $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ en disoluciones para la adición a las muestras según la dosis buscada. Se llenaron en 4 vasos precipitados de 1 L con muestra se añade $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ para obtener diferentes concentraciones. Se colocó una agitación de 100 rpm, 200 rpm y 300 rpm.



Se realizaron en el laboratorio de monitoreo y evaluación ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Puno para ello se consideró las variaciones de pH y parámetros fisicoquímicos con el equipo de Multiparámetro Hanna Instruments (HI9829).



Tratamiento de las muestras de agua de mina de la Minas Los Rosales con Caolinita – Chaco en concentraciones 20 ppm, 60 ppm, 80 ppm y 100 ppm en el Laboratorio durante 14 horas para obtener el mejor tratamiento.

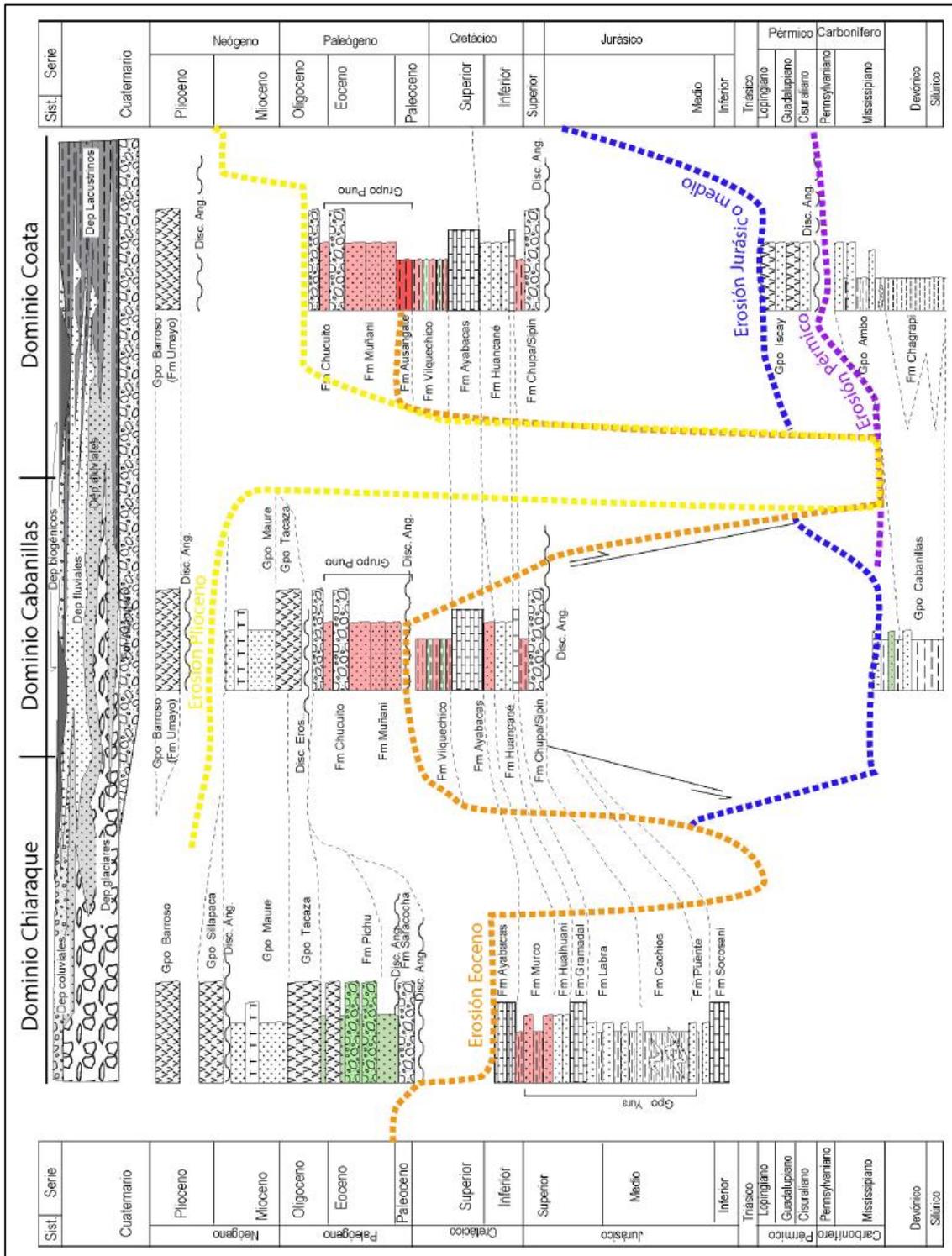


Se llevó a cabo la mezcla de 5 ml de ácido nítrico al 95 % de concentración, seguido por el proceso de filtrado de las muestras en el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas realizándose la curva de calibración para cada metal. Filtrando las muestras tratadas con caolinita – chaco.



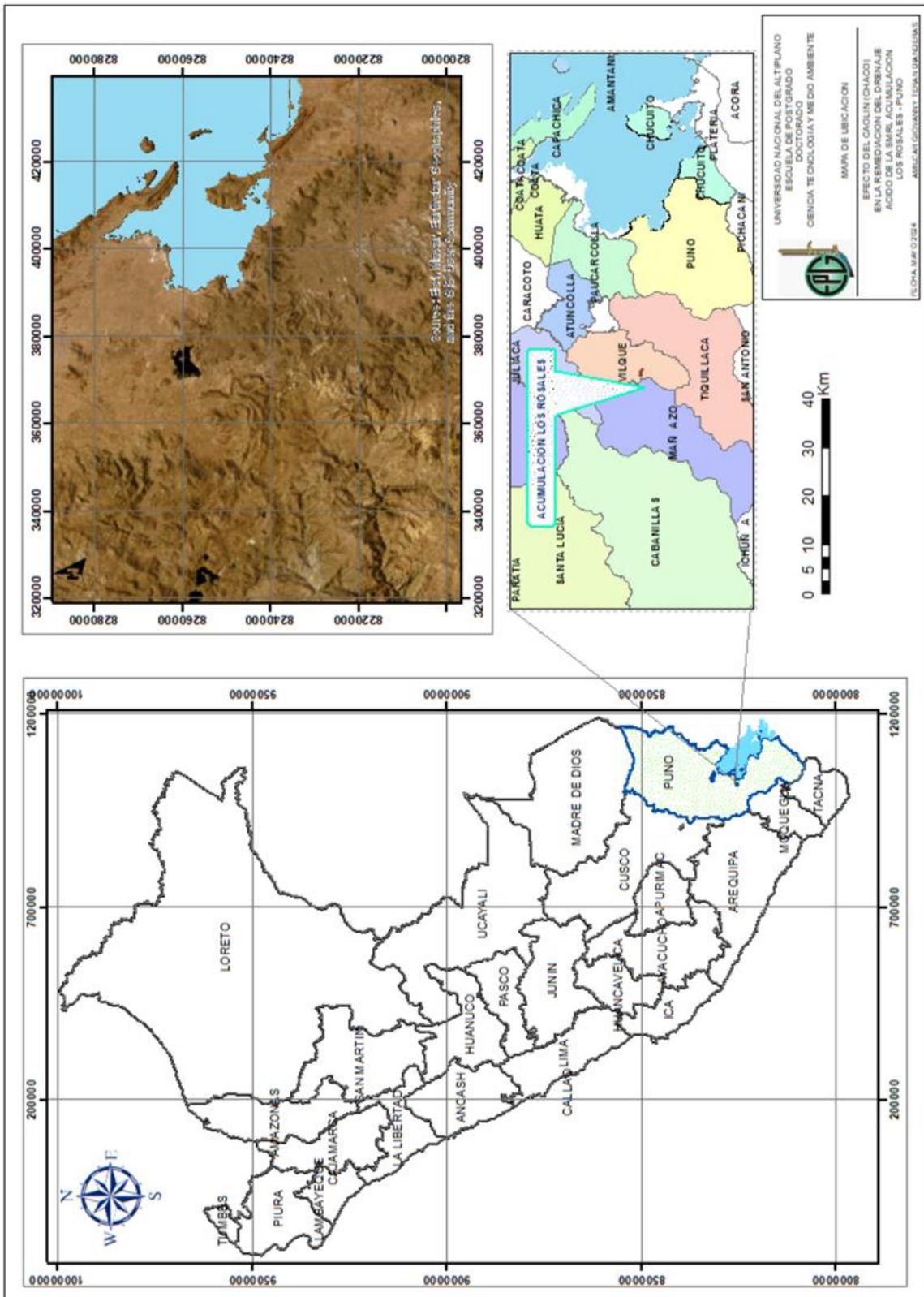
Concentración de metales pesados en las especies se realizó utilizando un espectrofotómetro de emisión atómica con plasma de microondas, específicamente el modelo 4210 MP-AES. Este análisis se llevó a cabo utilizando la longitud de onda para cada metal.

Anexo 10. Columna estratigráfica



Nota. (Rodríguez et al., 2020)

Anexo 11. Mapa de ubicación





Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS,
identificado con DNI 09264086 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

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

" EFECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACIÓN DEL DRENAJE
ACIDO DE LA SMRL ALUMULACIÓN LOS ROSALES - PUNO "

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 suyas 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 08 de JULIO del 20 24


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 AMILCAR GIOVANNY TERAN DIANDERAS,
identificado con DNI 01264086 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE,

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

“ EFEECTO DEL CAOLIN (CHACO) EN LA REMEDIACIÓN DEL DRENaje
ACIDO DE LA SMRL ACUMULACIÓN LOS ROSALES- PUNO ”

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 08 de JULIO del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella