



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**TRATAMIENTO DE EFLUENTES MINEROS MEDIANTE LA CAL
Y POLÍMERO PARA REDUCCIÓN DE LOS METALES PESADOS
EN LA UNIDAD MINERA “EL COFRE” - LAMPA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. KEVIN DIOSDADO QUISPE LLANOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

TRATAMIENTO DE EFLUENTES MINEROS MEDIANTE LA CAL Y POLÍMERO PARA REDUCCIÓN DE LOS METALES PESADOS EN

AUTOR

KEVIN DIOSDADO QUISPE LLANOS

RECuento de palabras

22430 Words

RECuento de caracteres

119544 Characters

RECuento de páginas

116 Pages

Tamaño del archivo

6.6MB

Fecha de entrega

May 9, 2023 12:56 PM GMT-5

Fecha del informe

May 9, 2023 12:58 PM GMT-5

● 5% de similitud general

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

- 4% Base de datos de Internet
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

V°B°

Firmado digitalmente por SALAS
URVIOLA Fernando Benigno FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy V°B°
Fecha: 10.05.2023 13:06:53 -05:00

Universidad
Nacional
del Altiplano



Firmado digitalmente por MARIN
PAUCARA Esteban FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09.05.2023 13:05:23 -05:00

Resumen



DEDICATORIA

A la memoria de mi abuela Ángela Chaiña Vázquez VDA. de Llanos, quien fue una persona íntegra.

A mi querida madre María Llanos Chaiña, por la entrega y amor inconmensurable.

A mi tío Zacarías Rojas Chayña, por su predisposición y apoyo.

Kevin Diosdado.



AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Nacional del Altiplano
y a la Facultad de Ingeniería de Minas,
por la formación académica recibida.*

*A la U.M. El Cofre y la comunidad, por
recibirme y ser parte de mi desarrollo
profesional.*

Kevin Diosdado.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 18

1.2.1 Pregunta general..... 18

1.2.2 Preguntas específicas 18

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 18

1.3.1 Objetivo general..... 18

1.3.2 Objetivos específicos 18

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.4.1 Hipótesis general..... 19

1.4.2 Hipótesis específico 19

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 19



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2 MARCO TEÓRICO.....	24
2.2.1 Drenaje ácido de roca.....	24
2.2.2 Generación de aguas ácidas	26
2.2.3 Categorización de las aguas provenientes de mina	27
2.2.4 Precipitación alcalina	29
2.2.5 Proceso de coagulación floculación.....	33
2.2.6 Coagulación en tratamiento de efluentes	34
2.2.7 Floculación en la precipitación de metales	41
2.2.8 Teoría de la sedimentación	45
2.2.9 Simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación con ensayos de prueba de jarra o “jar-test”.	48
2.3 MARCO CONCEPTUAL	50
2.4 MARCO LEGAL	53

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO	55
3.1.1 Ubicación y accesos.....	55
3.1.2 Sub cuenca Paratia	56
3.1.3 Tipo de yacimiento	58
3.1.4 Clima de la zona de estudio Paratia	58
3.1.5 Recursos naturales	58
3.2 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS.....	59



3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	61
3.3.1	Población.....	61
3.3.2	Muestra	61
3.4	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	62
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO.....	62
3.5.1	Variable independiente (VI)	62
3.5.2	Variable Dependiente (VD).....	62
3.6	PROCEDIMIENTO	63
3.7	DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	64
3.7.1	Caracterizaciones físicas químicas y las concentraciones de los metales disueltos del efluente del Nv.0.....	64
3.7.2	Optimización de compuestos químicos de cal y polímero Ar-1849 para remoción de metales mediante precipitación alcalina	66

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	VALORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES TOTALES DEL EFLUENTE MINERO PROVENIENTE DEL NV.0 – EL COFRE.	73
4.1.1	Evaluación de las características in situ.....	74
4.1.2	Obtención de muestras de agua y reporte de resultados– U.M. El Cofre	74
4.2	PARÁMETROS DE DOSIFICACIONES OPTIMAS DE ÓXIDO DE CALCIO Y POLÍMERO PARA REDUCCIÓN DE LOS METALES MEDIANTE EL PROCESO DE PRECIPITACIÓN ALCALINA.....	76
4.2.1	Análisis y tratamiento del diseño factorial.....	78
4.2.2	Análisis de varianza con Minitab.....	80



4.2.3 Diagrama de Pareto.....	82
4.2.4 Grafica de efectos principales para el rendimiento.....	84
4.2.5 Grafica de cubos	85
4.2.6 Grafica de interacciones para el % de rendimiento.	86
4.3 DISCUSIÓN.....	87
4.3.1 Determinación de las propiedades física y químicas del efluente.	87
4.3.2 Cuantificación de insumos para la precipitación alcalina.....	88
V. CONCLUSIONES.....	89
VI. RECOMENDACIONES.....	90
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS.....	97

Área: Ingeniería de Minas

Tema: Monitoreo y Evaluación del Impacto Ambiental en Minería

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de mayo del 2023



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de aguas residuales de mina con relación a valores de pH. ...	26
Tabla 2.	Clasificación de los drenajes de mina.	29
Tabla 3.	Constante del producto de solubilidad K_{ps} a 25°C	31
Tabla 4.	Efectos de coagulación en las sustancias dentro del agua.	39
Tabla 5.	Acceso principal a la U.M. El Cofre.....	55
Tabla 6.	Ubicación de la planta de tratamiento de la U.M. El Cofre.	56
Tabla 7.	Estaciones de monitoreo de agua de la U.M. El Cofre.	65
Tabla 8.	Valores límite de efluente para descarga de actividades Mineras – U.M. El Cofre.	66
Tabla 9.	Tabla de variables independientes con niveles máximos y mínimos.	71
Tabla 10.	Matriz de diseño factorial 2^3	72
Tabla 11.	Valores límite del efluente para descarga de actividades mineras - U.M. El Cofre	73
Tabla 12.	Parámetros fisicoquímicos iniciales del efluente del Nv.0 - U.M. El Cofre.	74
Tabla 13.	Resultados de muestras de estaciones de monitoreo.....	75
Tabla 14.	Reporte de resultados de remoción de Cd y Zn con dos replicas.	77
Tabla 15.	Resumen del diseño en Minitab para el diseño factorial 2^3	79
Tabla 16.	Resultado de cálculo de efectos en Minitab para el diseño 2^3 con dos replicas.	80
Tabla 17.	Tabla de análisis de varianza.	81
Tabla 18.	Resumen del modelo.....	81



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Elementos que intervienen en la formación del DAM.....	27
Figura 2.	La solubilidad de algunos hidróxidos metálicos tomando en cuenta el pH. 32	
Figura 3.	Modelo del sistema de capa doble difusa de Stern-Gouy.....	37
Figura 4.	Estructura del equipo de jarras.....	49
Figura 5.	Diagrama de representación del proceso de "Jar Test"	69
Figura 6.	Diagrama de Pareto de los efectos del diseño factorial 2^3 con replica.	82
Figura 7.	Efectos principales del diseño factorial para la remoción de metales.	84
Figura 8.	Diagrama de cubos para los efectos del tratamiento con los componentes. 85	
Figura 9.	Interacciones de factores en base al rendimiento de remoción de metales..	86
Figura 10.	Planta de tratamiento de efluentes líquidos mineros.....	117
Figura 11.	Toma de muestras de agua del punto de monitoreo PM-0.....	117
Figura 12.	Obtención de muestras, metales totales, aceites, grasas y otros PM-01. ...	118
Figura 13.	Lecturas de parámetros "in situ" según protocolo de monitoreo de agua..	118
Figura 14.	Obtención de muestras del punto de vertimiento al río Paratia.	119
Figura 15.	Medición de parámetros físicos en el punto de vertimiento al río Paratia. 119	
Figura 16.	Equipo de prueba de jarras en el laboratorio de químico.....	120
Figura 17.	Proceso de sedimentación y tiempo de residencia.	120



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas.	98
Anexo 2.	Estándares de Calidad Ambiental: Categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales.	99
Anexo 3.	Plano de punto de vertimiento y puntos de muestreo al río Paratia.	100
Anexo 4.	Plano ubicación “Planta de tratamiento de los efluentes líquidos mineros – El Cofre”.....	101
Anexo 5.	Macro localización de la zona de estudio.	102
Anexo 6.	Plano de la subcuenca del río Paratia.	103
Anexo 7.	Informe y reporte de resultados de XERTEK LIFE de aguas tratadas mediante el proceso de coagulación floculación.	104
Anexo 8.	Hoja de seguridad del óxido de calcio	108
Anexo 9.	Hoja de seguridad del polímero.	113



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Ph	: Potencial de hidrogeno.
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
LMP	: Límites Máximos Permisibles.
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental.
UTM	: Universal Transverse Mercator.
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad.
CONAGUA	: Comisión Nacional del Agua.
OMS	: Organización Mundial de la Salud.
MINAM	: Ministerio del Ambiente.
CIEMSA	: Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A.
EIA	: Estudio de Impacto Ambiental.
DGAAM	: Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros.
DGM	: Dirección General de Minería.
ITS	: Informe Técnico Sustentatorio.
WGS84	: World Geodetic System 1984.
INRENA	: Instituto Nacional de Recursos Naturales.
MSDS	: Material Safety Data Sheet.
2^k	: Dos niveles, con k factores.
K_{ps}	: Constante del producto de solubilidad.



RESUMEN

En estos días, el problema con mayor frecuencia en la actividad minera es la presencia de efluentes en labores mineras subterráneas, que contienen metales pesados, es así como; la presente investigación tiene como objetivo tratar los efluentes con óxido de calcio (cal) y polímero (AR - 1849), con dosificaciones óptimas, reduciendo concentraciones de metales pesados disueltos en la U.M. El Cofre -Paratia – Lampa. Entonces, la metodología fue cuantitativa, dado que se obtuvieron muestras para la evaluación preliminar y resultados finales de los parámetros fisicoquímicos, teniendo el tipo de investigación de carácter experimental; ya que, se realizaron ensayos de tratabilidad a nivel de laboratorio para evaluar la calidad del efluente en laboratorio químico metalúrgico con equipos de *Jar-test* y un multiparámetro Hatch 2200, con un tamaño de muestra de 83 L recolectada del caudal constante del efluente que procede del Nv.00. Es así que, para determinar los factores influyentes (pH, polímero y velocidad de agitación) para optimizar la dosificación de estos mismos y mejorar el rendimiento del proceso de coagulación floculación y sedimentación, se utilizó el diseño experimental 2^3 en Minitab con dos replicas en cada punto, donde se logró reducir los metales disueltos con las siguientes concentraciones: 330 mg/L de óxido de calcio o cal para elevar el pH a valor promedio de 10,5 y 1000 mg/L de polímero a una velocidad de 150 rpm, que llego a precipitar el zinc a valor mínimo promedio de 1,224 mg/L (99 % de reducción) y cadmio con valor mínimo promedio de 0,036 (98 % de reducción).

Palabras clave: Coagulación, dosificación, floculación, metales disueltos, precipitación.



ABSTRACT

Nowadays, the most frequent problem in the mining activity is the presence of effluents in subway mining works, which contain heavy metals. Thus, the present research aims to treat effluents with calcium oxide (lime) and polymer (AR-1849), with optimal dosages, reducing concentrations of dissolved heavy metals in the El Cofre - Paratia - Lampa. Then, the methodology was quantitative, since samples were obtained for the preliminary evaluation and final results of the physicochemical parameters, having the type of research of experimental character; since, treatability tests were carried out at laboratory level to evaluate the quality of the effluent in metallurgical chemical laboratory with Jar-test equipment and a Hatch 2200 multiparameter, with a sample size of 83 L collected from the constant flow of the effluent coming from the Nv.00. Thus, to determine the influential factors (pH, polymer and agitation speed) to optimize the dosage of these and improve the performance of the coagulation, flocculation and sedimentation process, the experimental design 23 in Minitab was used with two replicates at each point, where the reduction of dissolved metals was achieved with the following concentrations: 330 mg/L of calcium oxide or lime to raise the pH to an average value of 10.5 and 1000 mg/L of polymer at a speed of 150 rpm, which came to precipitate zinc to an average minimum value of 1.224 mg/L (99 % reduction) and cadmium with an average minimum value of 0.036 (98 % reduction).

Key words: Coagulation, dosing, flocculation, dissolved metals, precipitation.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de efluentes mineros de drenajes ácidos de roca por actividades mineras, por lo general tienen un alto contenido en sulfatos y metales pesados, dentro de los más comunes, (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, etc.), que son fuentes de contaminación de cuerpos de aguas superficiales e incluso suelos. Ya que este problema puede subsistir a través del tiempo e incluso, debemos de aplicar métodos para un eficiente sistema de tratamiento.

El trabajo de investigación inicia previamente con la caracterización de los efluentes en la boca mina del Nv.0 – U. M. El Cofre, para así determinar las concentraciones de los metales; que al tener un alto contenido, en zinc (144,5 mg/L) y cadmio (2,05 mg/L), surge la motivación de disminuir, remover y precipitar dichos metales del efluente, que causa daño a las poblaciones aledañas que utilizan las aguas para el riego y consumo de sus animales, interviniendo de manera drástica en la cadena trófica.

Es así, que revisamos diferentes alternativas de tratamiento, procesos y sus metodologías, como la filtración por membrana (Electrodialisis, Osmosis inversa, Nanofiltración), siendo una de las mejores alternativas activas, pero desmineralizan el agua, generando que el agua sea acida, desestabilizando el pH, con una tendencia a ser alcalina, luego tenemos, electrocoagulación y electro floculación, que aplican principios de coagulación y floculación en reactores o tanques electrolíticos, utilizando fuente de energía, que mediante electrodos aporta iones desestabilizadores, reemplazando compuestos químicos, sin embargo es la energía que puede llegar a ser costosa, más aun estando en proceso de cierre. Por otro lado, tenemos, la precipitación química y



coagulación – floculación, una de las técnicas más utilizadas, sencilla de operar y económicamente factible, este es un método de tratamiento químico, usado generalmente antes de la separación física por decantación, siendo el objetivo la supresión de las partículas que se vayan a generar. De esta forma, se quiere neutralizar las cargas y formar masas que aglutinaran las partículas suspendidas, de tal forma que incrementen el tamaño quedando en el filtrador o en su defecto sedimentar, y con una floculación formando masas aún mayores para que precipiten con mayor facilidad.

Teniendo en cuenta los costos y que debe ser sostenible para el tratamiento de efluentes mineros con contenido metálico, optamos por utilizar una técnica alternativa convencional, como es el uso de óxido de calcio como coagulante y polímero AR-1849 como floculante, para implementar el proceso de coagulación floculación y sedimentación, de esta manera dosificar adecuadamente, este método se realizó con el equipo llamado jar – test y un multiparámetro Hatch 2200, realizando pruebas iniciales a escala de laboratorio de la U. M. El Cofre, ubicado en el departamento de Puno, Provincia de Lampa y distrito de Paratia. Para tal fin, se recurrió al muestreo aleatorio simple que se puede definir como cada elemento de la población tiene una oportunidad de ser seleccionado. Se utiliza principalmente en la investigación cuantitativa, como es el caso de esta investigación. Los factores controlables en el proceso experimental fueron: potencial de hidrogeno (pH), concentraciones de floculante (mg/L) y la velocidad que se dio para la mezcla homogénea, las pruebas se llevaron a cabo en los laboratorios de la U.M. EL Cofre, con el diseño factorial 2k en Minitab, con el cual realizamos de forma aleatoria nuestros experimentos para que no tengan correlación, con dos replicas, que en su total fueron 16 experimentos realizados.



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, el drenaje ácido y los efluentes mineros genera problemas ambientales debido a la alta contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. A escala nacional, es uno de los problemas sociales y ambientales más graves, en la región de Puno y en determinadas provincias como en Santa Lucía, distrito donde se realiza actividad agropecuaria. Entre las principales características de aguas con metales pesados de esta localidad se encuentran: valores de pH con tendencia acida, altos niveles de concentración de iones metálicos (Zn y Cd). Es así, que el propósito del trabajo conlleva realizar el tratamiento, empleando un nuevo sistema de tratamiento.

En el río Paratia, ubicado en la provincia de Lampa - Puno, según informes de entidades fiscalizadoras, como el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) hicieron evaluaciones de la calidad físico químico del agua que se estaba vertiendo al río Paratia en donde se verificó que sobrepasan LMP's.

Actualmente, el Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A., en adelante CIEMSA, en concordancia con los compromisos ambientales y de su política ambiental, busca realizar el tratamiento de los efluentes mineros de manera más eficiente y controlando los volúmenes para verter al río Paratia, teniendo en cuenta como eje principal la Ley de Cierre de Minas (Ley 28090 del 14 de octubre del 2003), y de igual forma a su reglamento (D.S. 033-2005-EM, 16 agosto 2005), donde da a conocer las obligaciones del plan de cierre de minas, de esta manera reducir los riesgos que pudieran ocasionar producto del cierre de minas de la U.M. El Cofre.

Dentro de varios métodos para el tratamiento, se empleó el método activo, que conlleva un proceso químico, mayormente visto en plantas de tratamiento de aguas y su manejo, todo ello adicionando los insumos alcalinos entre otros polímeros. Con esta idea,



el objetivo es realizar la precipitación y reducción de los metales pesados disueltos (Zn y Cd) con dosificaciones óptimas, eliminando así la decadencia de la cadena trófica.

Con esta investigación se plantea la utilización de insumos más baratos y sostenibles económicamente, para ello emplearemos el uso de óxido de calcio y el polímero AR-1849, que baja considerablemente los metales pesados.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Pregunta general

¿Cuál es el efecto del tratamiento de efluentes mineros mediante la cal y polímero para minimizar las concentraciones altas de metales pesados en la U. M. “El Cofre”?

1.2.2 Preguntas específicas

¿Cuál es la evaluación de las características fisicoquímicas del efluente minero proveniente del Nv.0 - U.M. “El Cofre”?

¿Cuáles son los parámetros de dosificaciones óptimas de cal y polímero en el tratamiento de efluentes mineros para minimizar las concentraciones de los metales pesados disueltos?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Tratar los efluentes mineros mediante la cal y polímero para reducir los metales pesados en la U. M. “El Cofre”.

1.3.2 Objetivos específicos

Evaluar las características fisicoquímicas del efluente minero que proviene del Nv.0 – U.M. “EL Cofre”.



Encontrar la dosificación óptima de cal y polímero en el tratamiento de efluentes mineros mediante el proceso de coagulación, floculación y sedimentación para minimizar las concentraciones de metales pesados.

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Hipótesis general

El tratamiento de efluentes mineros mediante el uso de la cal y polímero por el proceso de coagulación floculación y sedimentación; tiene un efecto positivo, minimizando de manera considerable las concentraciones altas de metales pesados provenientes del Nv.0, U. M. El Cofre – Lampa.

1.4.2 Hipótesis específico

Las características fisicoquímicas del efluente minero del Nv.0 de la U.M. El Cofre, contiene metales pesados disueltos elevados, particularmente en los parámetros de cadmio y zinc.

Con una adecuada dosificación de los compuestos químicos de cal y polímero para un tratamiento de efluentes mineros mediante el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, reduce de manera significativa la concentración de los metales pesados disueltos.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la U. M. El Cofre contempla en su plan de cierre de minas a la galería del Nv.00, donde se ha estado realizando el tratamiento de efluentes mineros con un alto contenido de metales pesados disueltos provenientes de interior mina, de acuerdo al informe presentado por el OEFA, muestra su interés en el río Paratia en concordancia con garantizar el desarrollo con estabilidad en los derechos, coexistiendo en un ambiente saludable y proteja el desarrollo sostenible, con el tratamiento de las aguas para la



reducción de metales pesados, OEFA evalúa las propiedades físico químicos en laboratorio, para que de esta manera se pueda garantizar la calidad del agua cuando es vertido al río Paratia.

Mediante la Resolución Directoral N° 0008-2019-OEFA/TFA-SE, con expediente N° 1298-2019-OEFA/DFAI y en la carta N° 608-2021-OEFA/DSEM del 28 de noviembre del 2019, indica que la unidad minera El Cofre, de la empresa CIEMSA, excedió el límite máximo permisible respecto al parámetro de zinc total, en el punto de muestro de ESP-1. Incumpliendo con los LMP's en todo momento, de acuerdo con la normativa, y de igual forma los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs), es así que, analizando los tratamientos convencionales económicamente factibles, como es la precipitación alcalina con coagulación y floculación, realizamos la pregunta del problema, ¿Cuál sería la eficiencia del tratamiento de efluentes mineros mediante la cal y polímero para la reducción de los metales pesados en la U.M. "El Cofre"-Lampa?; para lo cual, se propone ejecutar a la brevedad posible, para mitigar los impactos ocasionados por los metales pesados disueltos encontrados en el río Paratia, siendo estas aguas para el consumo de animales, cultivo y regadío del distrito de Paratia, y comunidades aledañas aguas abajo, finalmente es necesario controlar el impacto que se genera y no afectar más la cadena trófica.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Zamora & Trujillo (2016), indican que las principales fuentes de contaminación son por metales pesados tóxicos donde se destaca (Cd, As, Sb, Pb, Ni, Co, Cu, Fe y Zn), por descarga de las aguas acidas de la mina San José. Es así como la aplicación del tratamiento mediante la neutralización – precipitación con óxido de calcio (CaO) tendrá un impacto positivo con la implementación de esta nueva tecnología, permitirá una mejora en la variedad de seres vivos acuáticos y superficial del Lago Uru Uru, con el cual se dará un mejor manejo de los recursos hídricos, como sistemas de riego y desarrollo ecoturístico.

Según Adams *et al.* (2014), en la investigación de sistemas sucesivos de producción de alcalinidad, menciona que la disolución de la piedra caliza eleva los valores de pH alcalino, provocando la precipitación de los metales como del aluminio, cobre y hierro. Los metales precipitados se acumulan en la parte inferior del estanque de sedimentación reteniéndolos y así separar las disoluciones.

Conforme a la investigación de Cadorin *et al.* (2007), se describió tratamiento y reciclaje de aguas ácidas provenientes de una mina inactiva de carbón (Brasil). El estudio, desarrollado con nuevas alternativas y equipos adecuados, tuvo la eliminación de contaminantes producto del Drenaje Acido de Mina (DAM) iones de (Fe, Al y Mn) y sulfato vía neutralización con óxido de calcio (CaO), precipitación química y separación por flotación por aire disuelto. El resultado da un gran porcentaje de rendimiento del tratamiento de DAM.



Los resultados de Verdugo (2013) indican que logra una eficiente remoción del sulfato y metales teniendo diferentes concentraciones, con la utilización de varias concentraciones de óxido de calcio (CaO) alcanzándose bajas concentraciones de sulfato y metales pesados en un tiempo relativamente muy corto.

En (2019), Aguirre & Huaman han concluido que, las aguas caracterizadas de la boca mina Prosperidad tenían concentraciones altas de metales que exceden lo aceptado por la normativa de los LMP de actividades metalúrgicas, es así; que de las pruebas en laboratorio mostraron que ejecutando el método químico con cal de una pureza del 98% para el tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM), es eficiente consiguiendo remover metales mayores al 95% a un pH de 10,5.

Según la investigación de De la Cruz (2019), la remoción del manganeso tiene efectos positivos con el uso de lechada de cal en las aguas de la U.M. Huaron, mediante una buena dosificación con lechada de cal, precipitando mejor a pH de valores promedio de 10,5, con una remoción del 99,57%; entonces, a medida que el pH es más alcalino la eficiencia es mayor y viceversa, de esta manera se cumplirá con las exigencias del LMP para Descarga de Efluentes Mineros-Metalúrgicos de Perú. Pero teniendo en cuenta que el pH es alto se debe realizar investigaciones para regularizar el pH entre 6,5 a 9,0.

Según Soloisolo (2021), la propuesta de canales de roca caliza compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3) como un sistema de tratamiento del drenaje ácido generado por la mina Arasi, influye de manera considerable en la reducción de metales pesados en la subcuenca del río Llallimayo región Puno, mediante muestras correlacionadas en un nivel de 0,916 demostrando que existe alta influencia mediante canales de roca caliza. Y las características fisicoquímicas de los efluentes de la mina Arasi post tratamiento baja las concentraciones de los metales en la cuenca del río Llallimayo.



De acuerdo con Huanca & Flores (2020), el uso de cal artesanal presento una óptima remoción de fosforo total en unidades de (mg/L), indicando que se realizó hasta en seis oportunidades los ensayos correspondientes en laboratorio para obtener una buena dosificación de 20 mg/L, llegando a una remoción de 0,822 mg/L y de acuerdo con el análisis realizado en Matlab y Minitab garantizan un ajuste del R^2 del 100%. Es así, que la remoción llegó al propósito previamente establecido, con el soporte de varias investigaciones ya realizadas y de esta manera viabilizando el proceso experimental.

En (2018), Chipana ha concluido que, de acuerdo con la caracterización de las aguas de la unidad son acidas, con valores de pH que se encuentran dentro de 2,80 a 3,38 y contiene concentraciones de metales pesados disueltos (Cu, Fe, Al, Zn, Ni y Mn), siendo potenciales contaminantes por su acidez. Es así, con el tratamiento por neutralización con cal al 4 %, en un intervalo 5 a 10 minutos, logrando remover los siguientes metales con un valor de 6,5 de pH: Hierro (93,84 %), Cobre (80,95%), Aluminio (99,37 %), y con un valor de 8,5 de pH: Zinc (86,88 %), Níquel (10,3%), y Manganeso (95,55%), sin embargo, el níquel precipito hasta en un 99,3 % y el manganeso a 98,88% con un valor de 10,1 de pH, reduciendo considerablemente las concentraciones de los metales y de esta manera una vez removido los metales pesados, se mejorará la calidad ambiental.

Según Jimenez (2017), el tratamiento de aguas acidas mediante el proceso de lechada de cal tiene un rendimiento del 78,65% en el parámetro de metales totales, mientras que los parámetros físicos químicos, tienen un valor en el pH de 8,1, OD 5,54 mg/L y conductividad eléctrica de 3,14 mS/cm siendo aptas para el consumo de animales que al contrastarse con el D.S N° 015-2015-MINAM, Estándares de Calidad de Agua, Categoría 3 – Bebida de animales y con el D.S. 010-2010-MINAM, demostrando eficiencia a excepción del manganeso, que no cumplía con lo establecido. De igual forma, se diagnosticó en laboratorio que el tratamiento mediante la neutralización con lechada



de cal tiene altos porcentajes en la remoción de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos, demostrándose que mediante ese proceso se obtiene buena calidad de agua. Y la comparación de los datos antes y después del tratamiento tiene amplia significancia.

De acuerdo con Tejada (2017), la utilización de la cal (CaO) en forma de lechada al 5 % como coagulante con una dosis de 6 ml/L de lechada de cal y se ha logrado recuperar el 50,25 % de agua clara mediante sistema de sedimentación. Realizando ensayos de jarras se pudo definir que el uso de óxido de calcio hidratado (Ca(OH)₂) fue de un 5 % y la concentración de dosis optima fue de 6 ml/L que vendría a ser 0,30 g/l de cal hidratada, de acuerdo con los reportes de turbiedad y solidos suspendidos totales. Y según estos resultados de turbidez se tiene $R^2 = 0,968$ y $0,9776$, indicando así que se ajusta de manera óptima al modelo planteado.

Además, según Pancca (2016), indica que el uso de lechada de cal es óptimo con un pH de 11 de la mano con una buena agitación, teniendo en cuenta también la velocidad de agitación a 140 RPM y recomendable utilizar en aguas con alto contenido de metales pesados ya que tiene mayor eficacia a la hora del tratamiento, lo cual es corroborado con resultados de R^2 ajustándose al modelo con el cual se trabajó con el uso del software STATGRAPHICS Centurion.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Drenaje ácido de roca

El drenaje en forma ácida proviene de minerales sulfurosos, que en su mayoría ocurre en forma natural. En el Perú, se descubrieron muchos yacimientos minerales por la presencia de agua y la característica física de color: rojiza, anaranjada y amarillenta, indicando el contenido de minerales combinados con azufre. Alrededor de veinte años atrás, se generó la angustia ambiental que se



vinculaba a la generación de aguas ácidas, asociado a concentraciones de metales totales disueltos, así también la terminología "drenaje ácido de mina" conocido por las siglas DAM. Sin embargo, la generación de drenaje ácido no se da solo en las minas, dado que el término "drenaje ácido de roca" o también conocido como DAR se usa en otros ámbitos. Como sea los términos que se emplee "drenaje ácido de mina" o "drenaje ácido de roca", la generación se enfocara en el drenaje producto de una oxidación de minerales sulfurados y la lixiviación de metales, que vienen de rocas que contienen oxígeno y azufre (sulfurosas) cuando son expuestas al aire y al agua. En tal sentido, se desarrolla el DAR que es un proceso que depende del tiempo y que contempla procesos de oxidación, química como biológica y fenómenos fisicoquímicos, incorporando la precipitación y el encapsulamiento. (Aduvire, 2006)

Se menciona así una interpretación referida a un drenaje polucionado. La generación bien conocida del drenaje ácido de roca con valores de pH bajos, que al mismo tiempo esta elevado en metales pesados siendo este proceso dependiente del tiempo. Conforme pase un periodo de tiempo, las características químicas del agua indudablemente se modificarán, volviéndose de esta manera aguas ácidas.

El término drenaje ácido de rocas (DAR) hace referencia al agua de drenaje que tiene niveles de cualquier elemento de nuestra tabla periódica o contaminante que no esté dentro de los parámetros de la normativa vigente para la republica del Perú, para el agua que es producto de operaciones mineras, y que generaría problemas ambientales. De esta manera con un drenaje ácido de roca podemos caracterizar los siguientes puntos: El valor del potencial de hidrógeno (pH) inferiores a 7 llegando a 1,5, tendencia a la baja de la alcalinidad e inversamente con la acidez ascendente, sales de sulfato en elevadas proporciones, metales o

elementos (disueltos o totales) de concentraciones altas, solidos disueltos totales con altas concentraciones.

Tabla 1.

Clasificación de aguas residuales de mina con relación a valores de pH.

Clasificación	pH
Muy ácidas	1,5 a 4,5
Levemente ácidas	5,0 a 7,0
Duras, neutras con tendencia a alcalinas	7,0 a 8,5
Alcalinas	7,5 a 11,0
Demasiado salinas	6,0 a 9,0
Ácidas	3,5 a 5,5

Fuente: Tratamiento de los efluentes en forma ácida. Aduvire (2006, pág. 2)

2.2.2 Generación de aguas ácidas

La generación de las aguas acidas se dan básicamente por la existencia de cuatro componentes principales que son: minerales sulfurosos reactivos (mayormente pirita); agua o atmósfera húmeda; y un oxidante (oxígeno proveniente del aire o de la interferencia química) y bacterias (principalmente Thiobacillus ferrooxidans). El proceso de oxidación de la pirita es el directo responsable de la formación de aguas ácidas; esta oxidación se ve favorecida en áreas mineras debido a la facilidad con la que el aire entra en contacto con los sulfuros, a través de diferentes labores mineras y por los poros existentes en las pilas de estériles y residuos, así como al incremento de la superficie de contacto de las partículas. (Ramirez, 2013)

Algunos escritores mencionan que las concentraciones de la piritita, y el tamaño del grano juntamente con su distribución espacial son las causas que dan origen a un drenaje en su forma ácida. Es así como podemos representar un gráfico de la siguiente manera, dando a conocer la formación del DAM.

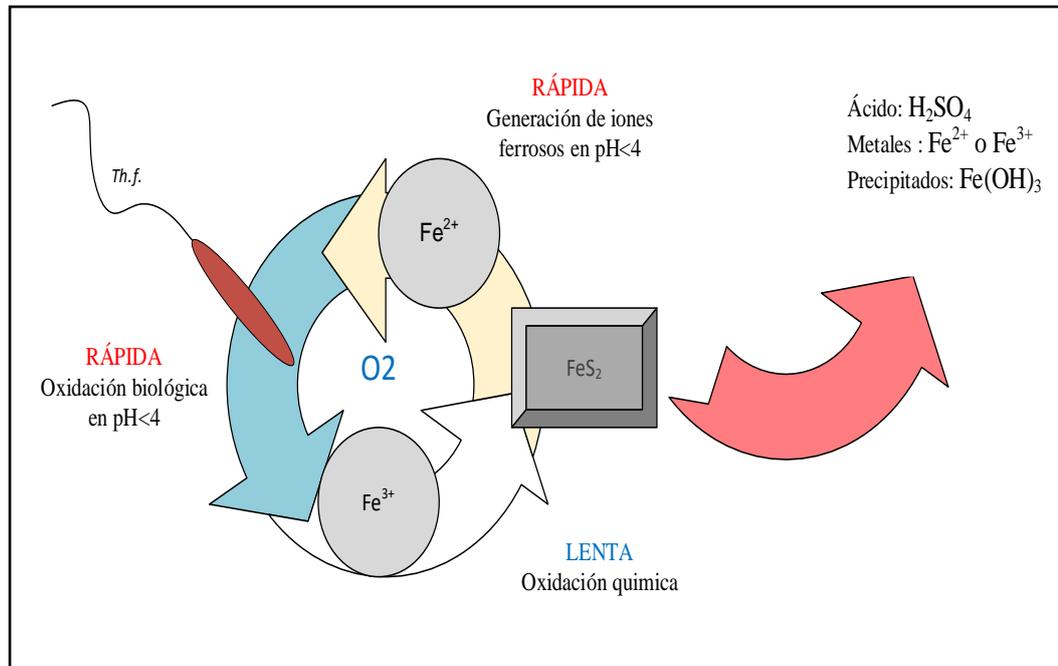


Figura 1. Elementos que intervienen en la formación del DAM.

Fuente: Kuyucak, (2006)

2.2.3 Categorización de las aguas provenientes de mina

La valoración viene a ser muy significativo y totalmente necesario para afrontar cualquier problema, en este caso el tratamiento más adecuado que es una parte importante de la presente investigación. Conocer específicamente donde se origina el problema, la frecuencia, envergadura y características específicas es sin duda lo más esencial para lograr identificar la mejor solución.

La caracterización de efluentes mineros es importante para más adelante efectuar un tratamiento, el dimensionamiento tiene mediciones de un año hidrológico del caudal con los siguientes parámetros. (López, Aduvire, & Baretino, 2002)



- Potencial de hidrogeno (pH)
- Acidez y alcalinidad
- Concentración de metales totales disueltos
- La conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto

De acuerdo con la normativa, la obtención de las muestras para análisis de concentración de metales totales y mediciones en campo de parámetros fisicoquímicos, deben ser realizados conforme al “*Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes*” dado por el MINAM. Una vez con los resultados serán contrastados con los “*Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas*” Decreto Supremo N°010-2010-MINAM.

Para López, Aduvire, & Baretino, (2002) ya sea que hablemos en términos de la acidez o alcalinidad respecto a cualquier drenaje, se refiere a la capacidad de poder contrarrestar una determinada base o un ácido. Entonces, cualquier drenaje que tenga una acidez, esto muestra indica la predominancia de la acidez total que vendría a ser igual a un drenaje ácido neto. De igual forma sería con el caso de la alcalinidad sea la predominante. Teniendo así la siguiente ecuación:

$$\text{Acidez / Alcalinidad Neta} = \text{Acidez Total} - \text{Alcalinidad Total}$$

De esta forma la acidez o alcalinidad neta, se clasificarían del siguiente modo:

Tabla 2.*Clasificación de los drenajes de mina.*

Sub- Categorías	Descripción	Rango de acidez o alcalinidad
1	Demasiado ácido	Acidez Neta > 300 mg/l como CaCO ₃
2	Moderadamente ácido	100=Acidez Neta=300 mg/l como CaCO ₃
3	Débilmente ácido	0 = Acidez Neta < 100 mg/l como CaCO ₃
4	Débilmente alcalino	Alcalinidad Neta < 80 mg/l como CaCO ₃
5	Fuertemente alcalino	Alcalinidad Neta = 80 mg/l como CaCO ₃

Fuente: (Aduvire, 2006, pág. 54)

2.2.4 Precipitación alcalina

La precipitación alcalina es un proceso fisicoquímico donde los metales llamados solutos que están disueltos en el agua, pueden ser transformados de manera que se tenga a los metales, pero de manera relativamente insolubles, cuando se les añade un compuesto químico que genere su precipitación. En estos días, se tiene una tendencia a utilizar reactivos que son alcalinos y que se utilizara en el trabajo de investigación para poder aumentar el pH y así disminuir la solubilidad del metal y de tal forma poder realizar las precipitaciones de los metales de acuerdo con la investigación. Este método se puede catalogar como un proceso automático, que debe ser vigilado por un pH en valor básico. Incrementado el potencial de hidrogeno mediante una mezcla homogénea alcalina, que se aplicó en el trabajo de investigación, oxido de calcio hidratado (hidróxido de calcio Ca (OH)₂, de esta forma el hidróxido metálico se convertirá en un insoluble y a su vez precipitaran.

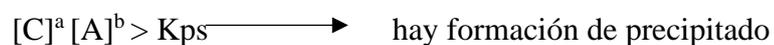
Esta solubilidad que se tendría no sería igual que en la ejecución. La solubilidad teórica se puede definir como el número de mol/L de soluto que se pueden disolver en un litro de solución. (Brown *et al.*, 2014, pág. 120)

La constante que utilizaremos de la multiplicación de solubilidad (K_{ps}) se verá afectada por el compuesto y los requisitos para la operatividad en las que se encuentren. Entonces el producto de solubilidad (K_{ps}) podría describirse que: será igual al producto de la aglomeración de iones que tienen interferencia en el equilibrio, que serán elevadas a la potencia del coeficiente de equilibrio. (Brown *et al.*, 2014, p. 723) Normalmente a una temperatura promedio de 25°C con el compuesto diluido en agua pura. Para calcular el producto de solubilidad la fórmula sería:



$$K_{ps} = [C]^a [A]^b$$

En donde [C] y [A] vendrían a ser concentraciones con unidades de mol/L. Además, podemos hallar la formación del precipitado contrastando las concentraciones de los iones en la solución y el producto de solubilidad.



Seguidamente se puede observar un contraste entre los valores K_{ps}, teniendo así en la teoría los compuestos a utilizar en el presente proyecto de investigación que aplicamos en la unidad minera el Cofre.



Tabla 3.

Constante del producto de solubilidad Kps a 25°C

Compuesto	Formula	Ksp (25°C)
Hidróxido de Zinc	Zn(OH) ₂	3 x 10 ⁻¹⁶
Hidróxido de Cadmio	Cd(OH) ₂	2,5 x 10 ⁻¹⁴

Fuente: (Brown et al., 2014)

De esta manera tenemos los agentes precipitantes alcalinos que ayudaran a la precipitación de los metales escogiendo uno de los más utilizados en la industria minera:

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Hidróxido de calcio Ca(OH)₂
- Hidróxido de magnesio Mg(OH)₂

En la figura 2 se puede observar una curva de solubilidad de algunos de los metales pesados disueltos, también la solubilidad contra el potencial de hidrogeno (pH) de la solución. Vemos trayectorias de y puntos que son las curvas teóricamente hablando de la solubilidad de elementos más importantes, marcando la tendencia de las líneas en forma de “U”, indicando el mínimo valor de solubilidad en un valor característico del pH.

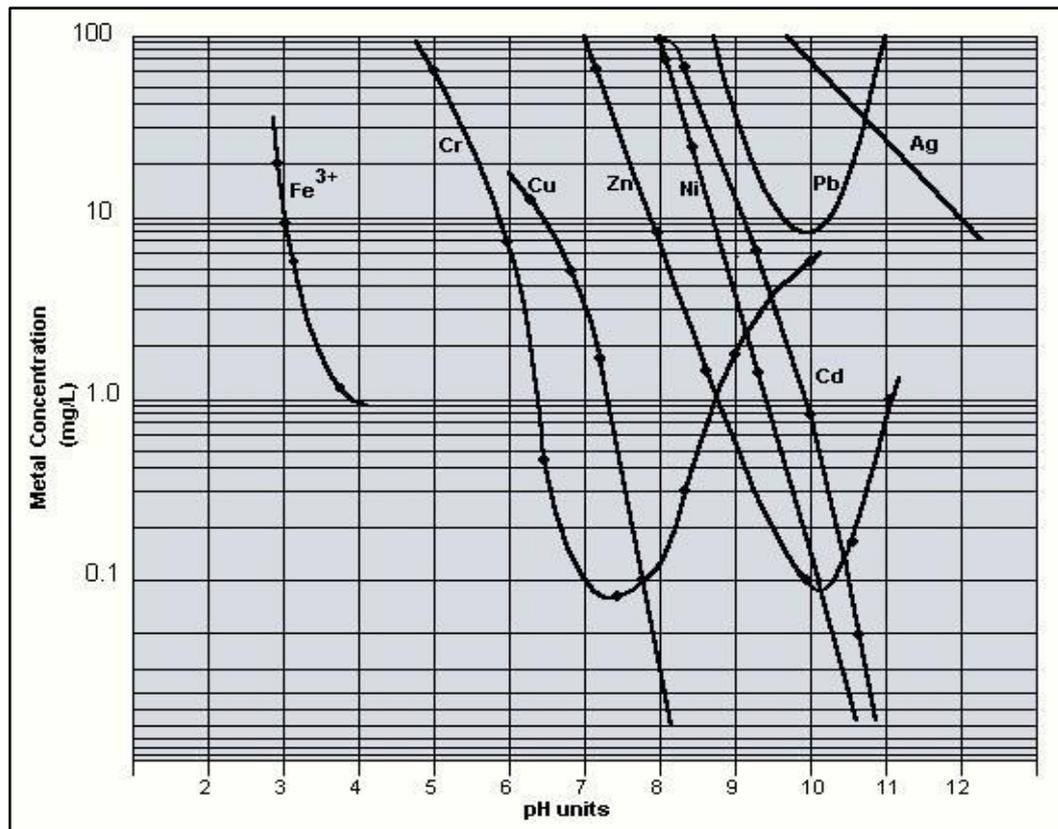


Figura 2. La solubilidad de algunos hidróxidos metálicos tomando en cuenta el pH.

Fuente. (Adams *et al.*, 2014)

Si prestamos atención al zinc que es uno de los metales altos en el efluente, podemos visualizar que a un pH de valor 7 tiene una solubilidad promedio entre 80 y 90 mg/L y a pH 10 la solubilidad es de 0,1 mg/L. Por otro lado, evaluaremos el cadmio el cual es otro elemento importante en la investigación, donde se observa, con un pH igual a 8 se tendría la solubilidad hasta 60 miligramos por litro, del mismo modo con un pH de 10 se tendría una solubilidad que sería de 0,8 miligramos por litro.

Tenemos algunos metales que son anfotéricos, que podría definirse como solubles ya sea en situaciones básicas o también ácidas. Podemos ver que el Cr en forma teórica es soluble 0,08 promedio con un valor de pH entre 7 y 8. Teniendo dos metales a precipitar, como por ejemplo el Cr y el Ni estando en cualquier



solución deberíamos de analizar y ver un punto intermedio del pH en donde ambos metales precipiten, en este caso sería el valor de 9,5.

De esta manera podemos deducir que nuestro pH para el tratamiento debería de ser considerado entre 8 a 10, teóricamente hablando, esto será comprobado realizando con las pruebas experimentales antes de iniciar y definir las condiciones del tratamiento.

Para la precipitación de los metales, se tiene en cuenta sin lugar a duda los grados de solubilidad, que siempre están ligados al pH; ya que por lo general los metales totales pueden disolverse en parámetros ácidos y estos se remueven en las condiciones alcalinas, obteniendo así aguas de contrataciones bajas, los antecedentes nos dan una idea clara, de que esta metodología es muy efectiva en cuanto a la precipitación de varios metales dentro de los más comunes se puede enunciar: Cu, Cd, Ag, Zn, Cr, Fe, Ni, Al, entre otros. Donde podemos notar que el proceso no requiere de componentes sofisticados, muy por el contrario, es económicamente factible a excepción del tratamiento y disposición de los lodos que se vayan a generar. También en algunos casos baja precipitación química, debido a que el propósito es adaptar el pH para la transformación del metal disuelto a material insoluble, pero la existencia de un pH diferente para la precipitación de un elemento metálico dado limita el uso cuando un número variado de metales coexisten en la misma solución o residuo. (Kanthi, 2015)

2.2.5 Proceso de coagulación floculación

La coagulación-floculación es una técnica fisicoquímica para tratamiento del agua que se aplica comúnmente, se utiliza antes de un proceso físico de separación que puede hacerse por sedimentación o filtración, con el fin de mejorar la eliminación de partículas. En donde la coagulación se refiere a la anulación de



cargas, encapsulando las masas que irán incrementando su volumen que podrán filtrarse y precipitar. La floculación mueve levemente o agita partículas, haciendo que se unan formando masas mayores que sedimentan con mucha mayor facilidad. (Mazille & Spuhler, 2022)

De igual forma, según Arboleda (2000) manifiesta que la coagulación floculación, es un proceso mediante el cual las partículas se aglomeran y adhieren entre sí, en pequeñas masas con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos y de esta manera pueden ser separadas del agua mediante procesos físico de sedimentación o precipitación. Mencionados procesos se usan para remoción de turbiedad orgánica o inorgánica entre otros.

2.2.6 Coagulación en tratamiento de efluentes

Este proceso llamado coagulación tiene como objetivo principal, desestabilizar de manera química, mediante la anulación de cargas superficiales que por lo general son negativas, los coloides que están en el agua a ser tratadas mediante la adición de compuestos químicos como coagulante, la implementación de energía para la mezcla homogénea y complementado con la floculación, se reducirán y depurarán sencillamente. Las interacciones de los compuestos se dan de manera muy veloz, durando algunos segundos desde el momento del contacto entre cada compuesto.

El procedimiento mencionado, es eficaz para la remover partículas que generen polución, reconocido de manera internacional por la factibilidad económica que y costos operativos en comparación con otros tipos de tratamiento. Las partículas pueden ser neutralizadas con la coagulación sin que se consideren, el origen de las mismas, el peso y su densidad. Sin embargo, implementar esta metodología puede ser excesivamente caro, al no manejar adecuadamente



repercutiendo así, en degradar las propiedades físicas químicas del agua, incrementando costos para remediar si se diera tal presunción, es así, que se debe considerar parámetros de dosificación.

En el campo del tratamiento de aguas de contacto industriales como en la minería, la coagulación es por definición, el fenómeno mediante el cual se realiza la desestabilización de las partículas coloidales, que pueden obtenerse especialmente por medio de la neutralización de las cargas eléctricas, todo ello con la adición de insumos químicos, así tenemos; la neutralización de la carga de coloides presentes en el agua y la disminución de las fuerzas que mantienen separadas las partículas.(Huerta, 2022) Las partículas que se contienen en el agua crean ciertos campos de fuerza, teniendo tamaños de partículas, ejemplo: partículas suspendidas, dimensiones $>10^{-7}$ m, otras que pueden ayudar a formar la solución coloidal, tomando diámetros que van desde los 10^{-7} y 10^{-9} m, y otras que componen la solución que vendría ser la verdadera, con dimensiones menores $< 10^{-9}$ m.

Cuando se habla de coagulación se enfoca en partículas de dimensiones que oscilan entre 10^{-4} y 10^{-9} m, las cuales se encuentran suspendidas, que es poco común que se desprenderán por un sistema de filtrado. Generalmente el compuesto superficial está cargado eléctricamente, normalmente la carga es de carácter negativo.

En general no se tiene reglas claras y definidos para determinar el tipo de coagulante de mayor eficacia para cada situación, comúnmente, para aguas residuales deben realizarse “*Jar Test*”, así como pruebas de los coagulante y floculantes a utilizar.

Coloides y el equilibrio de estos, también conocida como teoría de la doble capa eléctrica, debido a como se observa la superficie media en medio de las



partículas coloidales y su seno líquido. Se puede definir que la base de las cargas superficiales de las partículas coloidales atrae iones de carga opuesta, obteniéndose carga neutra de las partículas y su entorno que lo rodea. (CONAGUA, 2019) Es en esta determinada área donde la carga neutra, con un constante desplazamiento de moléculas de agua obliga de que se encuentre la capa difusa con cargas eléctricas, apareciendo así varias zonas pudiendo mencionarlas:

- El coloide y las partículas superficiales (caracterizadas con cargas negativas) con presencia del potencial eléctrico conocido generalmente como Potencial de Nernst.
- Por otro lado, se sitúa el área de Stern, conformada al contrario de la superficiales de cargas positivas, donde se ven atraídas de manera agresiva por la superficie coloidal, entonces el potencial eléctrico lo denominaron el potencial de Stern.
- El área o capa de Gouy-Chapman, formada de los iones móviles restantes, que abarca la superficie sin carga o neutra del líquido.

La capa difusa, en su interior y a una determinada longitud donde se ubica la superficie coloidal, se encuentra una capa que delimita. Es en donde la doble capa eléctrica que envuelve partículas coloidales del agua, donde se crea y ubica la zona denominada potencial eléctrico relativo del volumen de agua, que variara a la longitud que se alejen las partículas del líquido (se incrementara el potencial a medida se aproximen a las partículas). Así tenemos la superficie coloidal es el potencial total o de Nerst, y en la capa límite de agua adherida a la partícula es el potencial Zeta. (Barrenechea, 2004)

La existencia de este potencial Zeta y esta doble capa dificulta que se aproximen las partículas a una longitud promedio y que de esta manera las fuerzas

atrayentes de Van de Waals se accionen y así agrupen coloides existentes entre sí. Juntamente se muestra lo mencionado del fenómeno de repulsión a través de cargas con signos similares, es así como lo mencionado refuerza el equilibrio de todo este sistema.

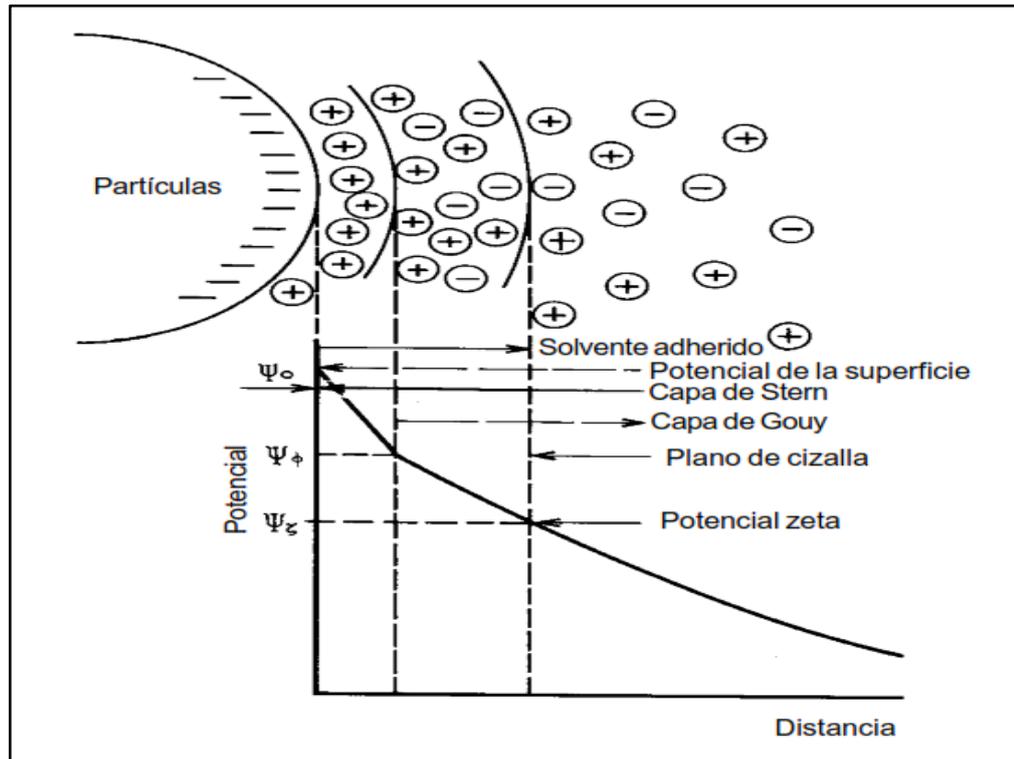


Figura 3. Modelo del sistema de capa doble difusa de Stern-Gouy.

Fuente. (Barrenechea, 2004)

De esta manera, para la coagulación es necesario juntar las partículas coloidales más pequeñas. De esta manera, la coagulación se conseguirá al quebrar el equilibrio del sistema, por otro lado, esto estará en función de la eficacia al momento de fracturar de la estabilidad de los coloides, en otras palabras, será la viabilidad de minimizar el área del potencial zeta entre la partícula y el límite de la capa que define el área de movimiento iónico.

2.2.6.1 Mecanismos de la coagulación

Para el tratamiento de aguas es necesario alterar la fuerza iónica mediante la adición de lechada de cal u otros aditivos que provoquen la



coagulación. Es así, que se considera la coagulación a cuatro mecanismos como son los siguientes:

- Coagulación comprensión de la doble capa eléctrica: Un aumento de la concentración de electrolito, incorpora iones de signo contrario a la capa difusa, comprimiéndola, disminuyendo fuerzas repulsivas y con ello la potencial zeta, la coagulación comienza cuando la distancia que separa a las partículas es superior, entonces las partículas, no se atraen. (CONAGUA, 2019)
- Absorción y neutralización de cargas: Las partículas coloidales en este caso negativas acercan iones (+), ya que estos se hallan en solución dentro del agua y así se estaría formando, la primera capa ligada al coloide. Anular las cargas del coloide con cargas del tipo (+) de coagulante. Restabilización de la partícula en sus cargas; que contengan un coagulante alto, debido a la formación de cargas invertida a la carga original. (CONAGUA, 2019)
- Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado: Formación de flóculos ($Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$), al adicionar coagulantes necesarios, que alteran las partículas coloidales por ser aprisionar en los flóculos formados. (CONAGUA, 2019)
- Adsorción y puente: Los coagulantes de aluminio y hierro catalogados como hidroxocomplejos, alterarían las partículas coloidales con adsorción y la formación del puente, con moléculas del polímero muy largas se forman el “puente” entre las partículas con la posibilidad de una restabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros. (CONAGUA, 2019)

Tabla 4.

Efectos de coagulación en las sustancias dentro del agua.

PARÁMETROS	REDUCCIÓN MÁXIMA MEDIANTE LCOAGULACIÓN (*)
MINERALES	
Turbiedad	+++
Materiales suspendidos	+++
Fosfatos (P ₂ O ₅)	+++
Nitratos	0
Amonio	0
Cloruros	0, +
Sulfatos	0, +
Fluoruros	++
Hierro	+++
Aluminio	+++
Manganeso	+
Cobre	+++
Zinc	++
Cobalto	0
Níquel	0
Arsénico	`+++As ⁺⁵ , ++As ⁺³
Cadmio	++, +++
Cromo	`+Cr ⁺⁶ , +++Cr ⁺³
Plomo	+++
Mercurio	++
Cianuro	0

Fuente: (Sánchez, 2007)

(*) Reducción máxima obtenida mediante la coagulación:

- 0 : nada de reducción.
- + : 0 a 20% de reducción.
- ++ : 20% a 60% de reducción.
- +++ : > 60% de reducción.



2.2.6.2 Factores por considerar que influirán en la coagulación

Como en cualquier proceso, siempre se debe considerar los factores que se mencionaran a continuación con el objetivo de poder optimizar las variables.

- Potencial de hidrogeno o (pH), variables que será de suma consideración para el proceso de coagulación, debido a que cada agua tiene valores de pH que varían y que al no ser considerados, perjudicaría las características del agua, entonces los parámetros del pH dependerá de las características químicas del coagulante a emplear, de igual forma sucederá con el agua que se quiera tratar.
- Tiempo de la mezcla, vendría ser la cantidad del tiempo que transcurrirá, desde la adición del coagulante y al final del movimiento, con una velocidad que estará impidiendo la sedimentación de los flóculos.
- Característica y la cantidad de coagulante, aunque hay una cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante, la cantidad exacta se debe determinar mediante ensayos (Jar -Test) para evitar errores en las dosificaciones que rompan la adsorción superficial.
- Temperatura, esta intervine en los intervalos de tiempo y para una adecuada formación de los coágulos, deduciendo así que a menores temperaturas se requerirá más tiempo.
- Agitación y presencia de núcleos (sólidos en suspensión).
(Barrenechea, 2004)



Según Andia (2000), el análisis de cada ítem y su relación entre cada uno de ellos nos permitirá una adecuada coagulación, para así, poder tener un sistema de dosificación constante y fácilmente regulable.

2.2.7 Floculación en la precipitación de metales

La floculación es un proceso químico mediante con la suma de insumos denominadas floculantes o polímeros de alto peso molecular, donde acumula los coloides o de manera más simple las sustancias del agua, de esta manera forma su decantación y finalmente la filtración de impurezas. Este es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas e industriales. (CONAGUA, 2019)

Para Arboleda (2000), la floculación también se puede describir como mecanismo mediante el cual las partículas que son pequeñas han sido desestabilizadas chocan unas con otras formando coágulos de mayores dimensiones a los que se llaman flóculos; en este proceso los flóculos aumentan su peso específico hasta superar el del líquido que los contiene, y esto permite la precipitación del aglomerado.

2.2.7.1 Mecanismo de floculación

A continuación, se presentan dos modelos de que dependerán básicamente de las dimensiones de las partículas que se desestabilizarán:

- Modelo ortocinético, es generado por una energía exterior a un cuerpo de agua y también mecánicamente o hidráulico. Se da por las colisiones de partículas por el movimiento de nuestro cuerpo de agua. Intervienen partículas de dimensiones mayores al micrón ($1e-6$ m) y está estrechamente ligada a la gradiente de la velocidad del líquido, el cual se genera entre dos partículas separadas que se encuentran en el mismo seno



de nuestro fluido. El total de choques entre partículas será, proporcionalmente a la gradiente de velocidad que se genere. (Andia, 2000)

- Pericinético: a diferencia de lo anteriormente mencionado, la fuente de esta agitación se dará de manera interna, ocasionada por el movimiento Browniano y por la precipitación de partículas. El efecto es por lo general en las partículas de dimensiones inferiores a un micrón. Cuando se dispersa el coagulante en el agua, es necesario la floculación procinética para que las partículas de tamaño inferior a una micra comiencen a juntarse y así el movimiento Browniano acciona formando el floculo inicial.

Una vez que este alcanza el tamaño mayor o igual a una micra, actúa la floculación ortocinetica que se desarrollara de manera mucho mejor. Entonces podemos decir que ambos modelos se complementan mutuamente; ya que no podrían tener una buena eficiencia si los dos no interactúan. (Andia, 2000)

Cuando el coagulante que se emplea comienza a esparcirse en un determinado volumen de agua y este a su vez inicia a alterar, se precisa de una floculación procinética y de este modo las partículas inferiores a dimensiones de un micrómetro se adhieran, es en este punto donde el movimiento Browniano se ejecuta dentro de estas dimensiones de las partículas, formando previamente el microflóculo, una vez que alcancen dimensiones de por lo menos un micrómetro empezara la denominada floculación ortocinética, esta estructura fue evaluada en lugares donde la temperatura estuvo por debajo de los 0 °C, siendo este parámetro done el



movimiento browniano se anula y del mismo modo la floculación pericinética. En este caso, se comprobó que la floculación ortocinética es totalmente ineficiente y no tiene importancia alguna sobre partículas tan pequeñas. (Barrenechea, 2004)

La floculación se puede realizar con la incorporación de una fuente de energía al volumen de agua, con lo cual se generará la agitación; por lo tanto, el floculador tomaría el papel de, un tanque reactor inducido con la mezcla ligeramente suave, reteniendo esta agitación por un tiempo considerable. De acuerdo con la energía inducida, tenemos floculadores mecánicos: que necesitan ser inducidos por una fuente de energía externa, que haga girar mediante hélices/paletas, y floculadores hidráulicos: que utilizan la misma energía del agua mediante la pérdida de la carga hidráulica, siendo los hidráulicos más usados con flujos de forma horizontales; que es, apropiada a caudales menores de 50 litros por segundo. (CONAGUA, 2019)

2.2.7.2 Factores que influyen en la floculación

Algunos factores que intervienen en el proceso de coagulación floculación serian: el tiempo de residencia, los valores, control del pH y el cambio de velocidad. Considerándose, la gradiente con el tiempo, ya que las partículas tendrían mayores oportunidades, que se adhieran entre si y con más tiempo de que precipiten. No podemos dejar de mencionar el pH siendo la variable sobresaliente en cuanto a la desestabilización de las sustancias coagulantes y floculantes. (Barrenechea, 2004)

- El agua y su calidad: El proceso de coagulación de la mano con la floculación es muy sensible a las características físicas y químicas del agua; ya sea alcalina, el valor del pH y los sólidos suspendidos. El agua



- al contener iones podría alterar la estabilidad fisicoquímica, generando secuencias poliméricas de hidróxidos, que se originan con el contacto de polímeros con las partículas coloidales, repercutiendo en el tiempo de floculación.
- Influencia del tiempo en la floculación: en cualquier modelo donde se estudie la floculación, el factor de la velocidad de adherencia de las partículas es proporcional al tiempo. En determinadas características, se señala un tiempo óptimo de tal forma que haya floculación, por lo general este tiempo ha sido de valores de 20 minutos a 40 minutos. Mediante ensayos de prueba de jarras (jar tests), se puede determinar este tiempo.
 - La intervención de la gradiente de velocidad: en la mayoría de las ecuaciones que determinan la velocidad de aglomeración de las partículas en la floculación ortocinética, aparece la gradiente de velocidad como un factor de proporcionalidad. Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad. Los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores. La resistencia de flóculos depende de factores: tamaño, forma y compactación; del tamaño, forma y naturaleza de las micropartículas; y del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.
 - La intervención del flujo: Al momento en que se varía el flujo de cualquier planta de tratamiento, también se modifican los tiempos de



residencia y gradientes de velocidad en los tanques. Cuando se reduce el caudal, incrementa el tiempo de contención y minimiza el gradiente de velocidad. Cuando se incrementa el caudal, el tiempo de contención disminuye, el gradiente de velocidad aumentará, el número de Camp (N_c) tendrá una varianza de 20% cuando la variación del caudal es de 50%. En el floculador mecánico, el efecto es más perjudicial debido a su poca flexibilidad, ya que la velocidad permanece constante y el tiempo de residencia aumenta o disminuye de acuerdo con la variación del caudal. (Barrenechea, 2004)

La solución floculante más adaptada a la naturaleza de las materias en suspensión con el fin de conseguir aguas limpias y la formación de lodos espesos se determina por pruebas, ya sea en laboratorio o en el campo. (Barrenechea, 2004)

Si analizamos la industria minera, la mayoría de los floculantes que se usan y usaron son los polímeros sintéticos con un elevado peso molecular, como es el caso de la presente investigación con el polímero de acrilamida donde las moléculas son conformadas por cadenas largas y con gran afinidad por las superficies sólidas. Es así como las macromoléculas tienen similitud por adsorción a las partículas, provocando una floculación con la construcción de puentes entre partículas.

2.2.8 Teoría de la sedimentación

Podemos entender por sedimentación que es la precipitación de partículas o sólidos con ayuda de la gravedad que se encuentran en el agua. Para que se cumpla lo mencionado, el peso específico de las partículas debe ser mayor que el fluido o agua.



Para la neutralización de partículas que se encuentren suspendidas en cualquier fluido, pueden realizarse por la sedimentación o denominado también como la etapa de filtración. Ya que, ambos procesos van de la mano y se complementan entre si, donde la sedimentación: será la que remueva partículas con mayor peso, por otro lado, la filtración: neutralizara las partículas con densidades cercanas a la del agua o de algunos insolubles que no sedimentaron anteriormente.

Entonces el termino sedimentación seria la etapa donde las plantas de tratamiento realizan una operación en donde hacen precipitar las partículas suspendidas. Esta operación se puede inducir por procesos previos de coagulación, floculación o generación de biomasa. (Oliva *et al.*, 2008)

Existen cuatro tipos de sedimentación, que detallaremos a continuación:

- Sedimentación de tipo 1 o de Partículas Discretas; donde existe poca concentración de sólidos, las partículas sedimentan como entidades individuales y no interaccionan entre si mismas. (Briceño, 2022)
- Sedimentación de Tipo 2 o Floculenta; tenemos una baja concentración de sólidos en suspensión en el agua, pero las partículas interaccionan entre ellas y forman flóculos (grupos de partículas adheridas entre sí). (Briceño, 2022)
- Sedimentación de tipo 3 o Retardada; en esta forma de precipitación se caracteriza por que el fluido contiene sólidos con elevadas concentraciones, donde las partículas coloidales al juntarse unas con otras genera una precipitación en bloque, esta interrelación mediante las partículas produce que la velocidad de precipitación disminuya en cada una de ellas. Se caracteriza porque hay una capa límite bien definida entre la masa sedimentable y el líquido sobrenadante. (Briceño, 2022)



- Sedimentación de tipo 4 o llamada también de compresión; la sedimentación por compresión es la que típicamente se da en el fondo de los clarificadores en un proceso de lodos activos, donde la concentración de sólidos es tan grande que se ha creado una estructura, y la única manera de progresar en la sedimentación es mediante la compresión ejercida por el peso de las nuevas partículas que se van depositando encima de las ya existentes. (Briceño, 2022)

2.2.8.1 Ventajas y desventajas de la sedimentación

Ventajas de la sedimentación

- Una tecnología para tratar el agua de cierta simplicidad y a menores costos.
- Los insumos químicos como los coagulantes a utilizar minimizaran el tiempo necesario para la sedimentación de sólidos suspendidos.
- En el proceso de la coagulación, también puede ser muy eficaz eliminando microbios o bacterias, mas aun cuando se usa polielectrolito (que son quienes poseen electrolitos).
- La polución de metales pesados disueltos (Ba, Zn, Cd, Pb, etc), son neutralizados efectivamente cuando se realiza una coagulación eficaz.

Desventajas de la sedimentación

- Cuando se aplica una sedimentación en su forma más simple no siempre es lo suficientemente necesario para purificar el agua, en esta medida se deben aplicar otros procesos.
- Para tener buenos resultados se debe de priorizar un control minucioso de los valores que presentan el pH, como los parámetros de las dosificaciones del coagulante seleccionado a utilizar y la evaluación de la calidad del agua.



- Pueda que algunos coagulantes tengan un costo muy excesivo.
- Emplear la sedimentación sin el uso de ningún compuesto químico tomara un tiempo muy largo, que podría ser perjudicial.
- Es necesaria la retroalimentación de manera técnica para establecer los parámetros de la coagulación, realizar los ensayos de laboratorio y con un plan de monitoreo constante.
- Algunos coagulantes no están de manera lista para su utilización necesitando un previo proceso para incorporar al tratamiento de las aguas.
- Los insumos de al no tener un parámetro bien definido en pruebas de error o ensayos de laboratorio podrían ser muy dañinos para el proceso en general de coagulación floculación y sedimentación.
- En cierta medida la sedimentación no llega a ser necesaria para depurar los químicos que estén disueltos en un volumen de agua, a no ser que se adicionen coagulantes con características definidas para el tratamiento.

2.2.9 Simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación con ensayos de prueba de jarra o “jar-test”.

En el laboratorio, uno de los equipos que se usa con mayor frecuencia para tratar a las aguas es el equipo de “Jar test”. G. W. Fuller, J. Cairol y E. Theirault que fueron pioneros del modelo predictivo, probablemente la primera prueba con este método fue efectuada por W.L. Langelier en la Universidad de California en 1918 y las primeras aplicaciones y el desarrollo estas mismas fueron atribuidas a John Baylis, Bartow y Petterson, Fleming, Nolte y Kromer. (Barrenechea, 2004)

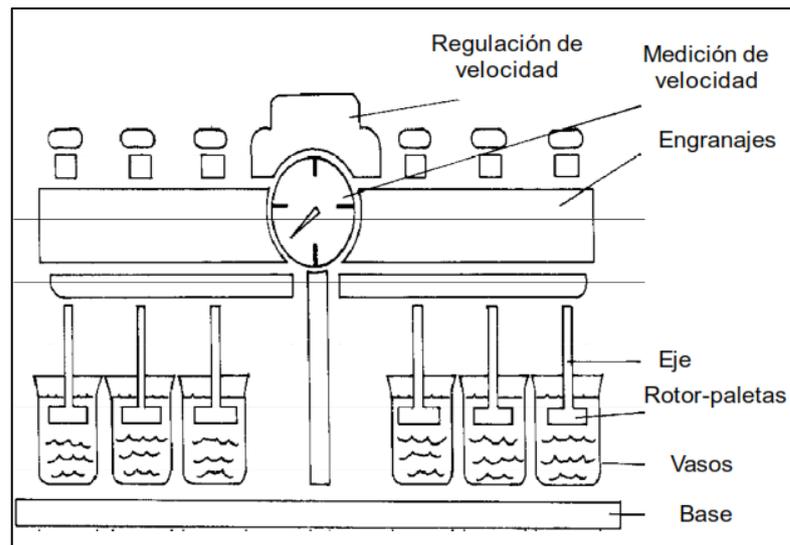


Figura 4. Estructura del equipo de jarras.

Fuente: (Barrenechea, 2004)

Los posteriores aportes tecnológicos por Tolman, Nickel, Gekershausen, Langelier-Ludwig, Cross et al., C. Henry, Smith, Straub, Elliassen, Norcon, Cox entre otros, que perfeccionaron de manera continua los ensayos y lo aplican de manera exitosa en otras condiciones de coagulación de aguas. Fueron estos autores que direccionaron el modelo mencionado hacia la optimización de las constantes químicas para la coagulación.

Cuando se menciona el “*Jar-Test*” se puede definir como el proceso para optimizar la propuesta de tratabilidad del agua, permitiendo así alterar o variar las constante del pH, tener variaciones en las dosis de compuestos químicos ya se en su forma de coagulante o de polímero, que serán influenciadas por establecer variaciones en las velocidades de agitación para obtener una mezcla homogénea, los ensayos de coagulante o polímero, con el propósito de poder predecir la operación para la tratabilidad a una escala mayor, Entonces los ensayos de jarras estaría sumillando cualquier proceso que quiera eliminar los coloides en suspensión y materia orgánica que puede llevarnos a problemas de turbidez, olor y sabor. (Barrenechea, 2004)



De esta manera el fin es poder determinar las variables ya sean físicas o químicas en la precipitación alcalina y sedimentación, como:

- Adecuado tipo de coagulante.
- Parámetro de pH para la tratabilidad.
- La mezcla rápida homogénea, gradiente de velocidad y la floculación.
- Tendencia de la velocidad de precipitación.
- El porcentaje de neutralización.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

La polución del agua

La polución hídrica se puede entender como el hecho de poner algún material dentro de un cuerpo de agua que produciría una alteración en las características fisicoquímicas. De acuerdo con OMS, un cuerpo de agua se denomina que está contaminada al presentar modificaciones necesarias para el uso de esta misma, al que se hubiera podido dar en el estado originario, además se puede clasificar en contaminación física relacionado a los sólidos o materiales en suspensión, elementos químicos inorgánicos y orgánicos como los metales pesados o el petróleo respectivamente y contaminación biológica, con diversos patógenos. (Guadarrama *et al.*, 2016)

Tratamiento físico químico de aguas de contacto

El tratamiento de aguas residuales es prioritario para prevenir la contaminación ambiental de igual forma el agua. Hoy en día tenemos varios procesos para la tratabilidad que permiten disminuir las consecuencias dañinas formadas como el producto de uso de agentes químicos, físicos y biológicos o la contaminación de estos mismos; sin embargo, la eficacia del tratamiento que se vaya a emplear debe ser equilibrado con el costo y la ejecución práctica de los procedimientos que hayan sido seleccionados para la puesta en



marcha. Debemos de considerar para un tratamiento con la propuesta que mejor se acomode a esta y el manejo de estos, se determinara por las leyes ambientales que se rigen, como la tecnología idónea, y caracterización de contaminantes, para el manejo eficaz de aguas debe ser como resultado un efluente ya sea reciclado, reusable, o que pueda ser descargado de manera segura en el medioambiente. (Caviedes *et al.*, 2015)

Metales pesados disueltos en el agua

Los metales disueltos presentes en el agua son variados y por lo general dañan los cuerpos de agua por causa del hombre, causando graves problemas al medio ambiente y a la población en general, disminuyendo la ya reducida cantidad de agua para consumo humano ya existente. Es así como las aguas que provienen de actividades minero-metalúrgicas y las que estén asociadas dañan los cuerpos de agua, tal es así que se puede enumerar los elementos más representativos como son: Zn, Hg, Ag, Ni, Cd y As, que son muy nocivos para la flora y fauna, ya sea terrestre o acuática, interviniendo en la cadena trófica al ser ingerido por un eslabón, ya sea el hombre en el provocando severos daños a la salud. (Pabón *et al.*, 2020)

Sedimentos y/o lodo activado

Podemos entender como lodos o sedimentos aquellos sólidos acumulados que se separan de un líquido, en este caso, del agua durante el proceso de tratamiento que vayamos a realizar. Las características del lodo dependen del origen del agua, así como de los sistemas de tratamiento aplicados. Los lodos se caracterizan por conformarse de una gran cantidad de agua, entre 95 y 99 por ciento. (CONAGUA, 2019)

Los estándares de calidad ambiental en el Perú (ECA)

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es un instrumento de gestión ambiental que se establece para medir la calidad del ambiente en el territorio nacional. Estos estándares determinan las concentraciones de los elementos en el ambiente que no



muestren riesgos para la salud, en el Perú se tiene cinco Estándares de Calidad Ambiental ligadas al Agua, Aire, Suelo, Ruido y Radiaciones No Ionizantes, este instrumento de gestión es importante porque permite tener una meta de calidad ambiental cuya evaluación periódica permite saber su cumplimiento. (MINAM, 2017)

Límites Máximos Permisibles (LMP)

El Límite Máximo Permisible – LMP, es la medida de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida puede causar daños a la salud, bienestar humano y ambiente. La determinación compete al MINAM, al igual que su cumplimiento y algunas instituciones que forman parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, con criterios que procesos administrativos sancionadores serán establecido por el MINAM. El límite máximo permisible en Perú está ligada a la preservación ambiental establecido para un origen determinada y a jerarquías generales que lo dictamina el ECA, la implementación de estos instrumentos debe asegurar que no se exceda la capacidad de carga de los ecosistemas, de acuerdo con las normas sobre la materia. (MINAM, 2010)

Precipitación de metales disueltos

Es el proceso mediante el cual los iones de los metales solubles y biodisponibles se precipitan del agua ácido en forma de hidróxidos, para lo cual se hace uso de alcalinizantes como la roca caliza. (Aduvire, 2006)

Cuenca hidrológica

El término de cuenca se define como una depresión geográfica, la cual ocasiona la pérdida de altura del territorio en medida del mar, mediante el cual se drenan las aguas de manera natural de ríos o algunos lagos endorreicos, las cuencas hidrográficas vendrían a ser las demarcaciones o terrenos que pueden dividirse en las denominadas cuencas endorreicas: donde no llegan al océano y estancándose claro ejemplo es el Lago Titikaka



y las cuencas exorreicas: que si finalizan en el océano o mar sin que se queden rodeadas. Entonces, las cuencas son vitales en el entorno ambiental para el ser humano, actuando de manera que concentran volúmenes de agua y ser consumidas por los humanos, como también en actividades de agricultura, ganadería la conservación del sistema biótico entre otras. (Ordoñez, 2011)

2.4 MARCO LEGAL

Aproximadamente desde hace dos décadas, fueron 80 los países industrializados tomaron conciencia de la polución generada en el agua, ya que; si se usa productos generados por el hombre y la tecnología desarrollada, también debe ser capaz de controlar y disponer de manera óptima en salvaguarda del medio ambiente. La humanidad es parte de la naturaleza y los derechos humanos se ven ligados en el espacio de cada ciudad, impactar negativamente interfiere en con el derecho a disfrutar de un área limpio y sano. Los principios de los derechos humanos y medio ambiente se resumen a deberes del hombre, constituyendo el rumbo en la vida y que servirán a medida que evolucione la comprensión de los derechos del hombre con el entorno donde se desarrolla. (Knox, 2018)

En el siguiente apartado se mencionará las leyes y normativas vigentes, mediante el cual se quiere regular el manejo de los recursos hídricos en el Perú.

- Ley N° 28611 - Ley General del Medio Ambiente en Perú.
- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y modificatoria Ley N° 1078.



- Texto Único Ordenado de Ley General de Minería aprobado mediante D.S: 014-92-EM con sus modificatorias.
- Ley de Cierre de Minas – Ley N° 28090, y su Reglamento D.S. 033-2005-EM y sus modificatorias aprobadas mediante D.S. 045-2006-EM.
- Ley N° 28271 - Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera y con su respectivo reglamento aprobado mediante D.S. 059-2005-EM.
- Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- Ley N° 27867 Ley Orgánica de Gobiernos Regionales.
- Ley N° 27972 – Ley Orgánica de Municipalidades.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

3.1.1 Ubicación y accesos

La U.M. El Cofre y la plata de beneficio se ubica en el paraje Choquesayane, distrito de Paratía, provincia de Lampa, departamento de Puno, a una altura promedio de 4500 m.s.n.m. y con referencia con el mapa geológico del Perú, está ubicado en el piso altitudinal subandino.

Como accesos se tiene, la ruta: Lima - Juliaca (Viaje una hora y treinta minutos - vía aérea); se continúa por carretera asfaltada de la vía interoceánica hasta un desvío denominado Yungo llegando a la U.M. El Cofre. El recorrido hace un total de 4 horas de viaje aproximadamente.

Tabla 5.

Acceso principal a la U.M. El Cofre

Ruta	Tipo de vía	Tiempo (horas)
Lima – Juliaca	Aérea	1,50
Juliaca – Santa Lucia	Asfaltada	1,00
Santa Lucia – Desvio Yungo	Asfaltada	0,15
Desvio Yungo - U.M. El Cofre	Afirmada	1,50
Total		4,15

La planta de tratamiento denominada “*Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos Mineros – U.M. El Cofre*”, vierten los efluentes al Rio Paratia, por actividades anteriormente realizadas por la explotación subterránea de la U.M El

Cofre, propiedad del Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A, que tiene las coordenadas UTM promedio, 328314,45 E 8 290718,10 N 4380 A, ZONA 19 sur, la ejecución del proyecto se realizó desde el mes de enero del 2021 hasta el mes de marzo del 2022. Las pruebas y prácticas del tratamiento con cal y floculante se realizaron en instalaciones de la U.M. El Cofre – U.M. TACAZA CIEMSA.

En la tabla 6 vemos la ubicación de la planta de tratamiento de los efluentes mineros de la U.M. El Cofre, lo cual también se puede visualizar en el anexo 4.

Tabla 6.

Ubicación de la planta de tratamiento de la U.M. El Cofre.

Código	Descripción	Zona UTM
31 – U	Ocuviri	19

Coordenadas UTM-WGS 84		
Vértice	Norte	Este
1	8 292 623,33	327 812,67
2	8 292 623,33	328 812,66
3	8 290 623,32	328 812,67
4	8 292 623,32	327 812,68

3.1.2 Sub cuenca Paratia

La subcuenca está ubicada en las coordenadas UTM WGS84 por el a Norte 8 300 336 a 8 283 872 y por el Este 318 373 a 310 174 departamento de Puno, provincia de Lampa y distrito de Paratia. La subcuenca Paratia tiene una extensión de 419,563 Km², y tiene el 8,554 % de la cuenca del río Cabanillas (2 888,614



Km.²). Esta subcuenca tiene una apariencia de un trapecioide en forma irregular con características geomorfológicas donde se hallan lagunas que permiten un caudal promedio anual.

El río Paratia tiene una distancia de 19,681 Km aproximadamente, que va desde juntarse con el río Verde y luego con el río Cabanillas, teniendo como acceso donde se origina en la carretera de Juliaca – Arequipa, para después desviarse por la carretera afirmada, llegando al centro poblado Chilahuito y finalmente al distrito Paratia.

El río Paratia aporta de manera significativa al río Verde, que tiene un caudal aforo de 68,46 l/s, con una pendiente de 1,634 %, % y una distancia de 19,681 Km., en la laguna Saito que cubre un área total de 1 035 Km² y la laguna churo con un área que asciende a 7 200 m² estas son las significativas a esta cuenca, también las fuentes de agua superficial inventariadas provienen de: 42 manantiales, 104 quebradas, 6 ríos, 3 lagunas y 28 bofedales. (INRENA, 2005)

La subcuenca Paratia ecológicamente tiene descripciones pluvial alpino subtropical con precipitaciones pluviales promedio entre 500 y 1000 mm, con temperatura promedio de 3 a 15 °C, a una altitud que varía desde los 4300 a 5000 m.s.n.m, de igual forma tiene un páramo con mucha humedad, precipitaciones pluviales promedio de 500 a 1000 mm, a temperaturas promedio entre 3 a 6 °C y altitudes de 3850 – 3950 m.s.n.m, y al nivel subtropical, con precipitaciones desde los 500 a 1000 mm, temperaturas de 6 – 10 °C y altitudes de 3850 - 4050 m.s.n.m, con elevaciones de 0 a 1000 m y quebradas mayores a 50 % con superficie mayormente rocosa. (INRENA, 2005)



3.1.3 Tipo de yacimiento

La U.M. El Cofre explota un yacimiento polimetálico con una mineralización ocurre relleno de fisuras o vetas, de rumbo promedio de N 20° E y buzamiento 65°-75 ° NO, con algunas varianzas de los siguientes minerales: Pb, Ag, Zn y Fe. El Cofre está referenciada en un área donde se hallan frecuentemente rocas volcánicas e intrusivas hipoabisales. El método de explotación en la U.M. El Cofre, es con el método de corte y relleno ascendente. La unidad minera tiene cancha de relaves subdividida en varios sectores independientes con una extensión de 20 ha.

3.1.4 Clima de la zona de estudio Paratia

El clima en el distrito de Paratia es generalmente seco y frígido, típico de la puna y de la altura a la cual se ubica, con estación de invierno y verano. En la estación de verano se genera precipitaciones pluviales desde diciembre hasta marzo. La estación de invierno podemos mencionar un periodo de estiaje, con temperaturas promedio que oscilan dentro de los 11° a -02°C, con heladas en los meses de junio, de igual forma presentan intensos vientos entre los meses de agosto y setiembre. El resto del año la temperatura se ubica dentro de los -2° a 18°, las precipitaciones han llegado en algunas zonas hasta un promedio medio anual de 1 000 mm.

3.1.5 Recursos naturales

En Paratia y alrededores de la zona de estudio, se puede apreciar pastos, donde se caracteriza mucho el ichu por su abundancia, siendo fuente principal de alimento para los animales; de igual forma el ichu puede transformarse en yareta, para uso de cocina, conjuntamente con la chilligua y tola, también cuentan con el pajonal altoandino característica de la puna, vegetación abierta geliturbada altoandina de la puna xerotífica septentrional y oriental, en cuanto a las especies



más conocidas de la fauna tenemos: aves como Jilguero, el Colibri de Stanley, el Tororoi andino, coludito puneño; vizcacha, zorro andino, y finalmente como especies representativas de flora: queñua, tola. (INRENA, 2005)

3.2 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

Los materiales e insumos que utilizamos para nuestra investigación fueron:

Materia Prima:

- Agua del interior mina de la U.M. El Cofre, se obtienen muestras de la boca mina para realizar las pruebas experimentales para el estudio, con medidas de parámetros físicos “*in situ*”, de acuerdo con protocolo de monitoreo.

Compuestos químicos:

- Insumo químico óxido de calcio (CaO), comúnmente conocido como cal, teniendo una pureza del 95% de la marca Intical, se utilizó para elevar el pH de las muestras recolectadas, de lo boca mina Nv.0, para la coagulación del efluente.
- Floculante AR-1849 (copolímero de acrilamida), insumo químico granular de aspecto blanco, con el cual se produjo una solución viscosa, para generar mayores flóculos, y que estos precipiten de mejor manera.

Materiales y equipos:

- Equipo de prueba de jarras de 4 brazos, se utilizó para variaciones en la dosis del polímero y coagulante en cada jarra, y que permitió la reducción de los coloides (pequeñas partículas) en suspensión; es decir, simulamos los procesos unitarios de precipitación alcalina y sedimentación, con ajustes en valores del pH para cada muestra hasta llegar a valores donde la floculación alcanzó sus mejores reportes.



- Espectrofotómetro de Absorción Atómica, permitió medir las concentraciones de metales contenidos en las muestras de agua (Zn y Cd).
- Multiparámetro, HQ 2200 series, equipo que permitió medir los parámetros físicos “*in situ*”, como son: pH, la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto.
- Balanza analítica Mettler Toledo, balanza electrónica que se utilizó para pesar las concentraciones de óxido de calcio y el polímero.
- Vasos de precipitado 1 000 ml, envases de vidrio en donde se colocaron las muestras.
- Baldes de plástico de 25 L, envases en donde almacenamos el agua o efluente.
- Guantes de nitrilo, para no contaminar las muestras de agua.
- Equipo full face, protegió de irritaciones o inhalaciones de los insumos químicos mencionados cuando se manipularon los compuestos químicos (Ver anexo 6 y 7 MSDS del óxido de calcio y el polímero).
- Dos coolers, de capacidad de 40 litros cada uno, que contuvo las muestras de agua.
- Botellas de 1 L y ½ L, para la preservación de muestras de metales totales.
- Probeta de 100 ml, con el cual se dosifico e hidrato del óxido de calcio.
- Papel filtro, para filtrar impurezas insolubles propias del óxido de calcio.
- Agua destilada y/o desionizada, se utilizó para la limpieza de los electrodos del multiparámetro, envases de las muestras.



3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.3.1 Población

Segun con Hernández, Fernández & Baptista (2014), es el conjunto de todos los elementos o el general de los elementos, que poseen características similares a los cuales está enfocado a la investigación y sobre las cuales se desea hacer una inferencia.

Entonces para la presente investigación, la población a considerar son los efluentes, consecuencia de la explotación minera realizada con anterioridad y drenajes ácidos de roca, que proviene de manera permanente por la galería 010SW – Boca mina Nv.0 de la U.M. El Cofre, con coordenadas UTM WGS 84, zona 19, E: 328 318, N:8 290 696, Con una concentración de metales totales en Zn de 144,51 mg/L y Cd de 1,643 mg/L, estos resultados son valores promedio que no tienen gran variabilidad.

3.3.2 Muestra

En la investigación recurrimos al muestreo aleatorio simple que se puede definir como cada elemento de la población tiene una oportunidad de ser seleccionado. Se utiliza principalmente en la investigación cuantitativa. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), si se desea obtener resultados representativos de toda la población, las técnicas de muestreo probabilístico son la opción válida, ya que, es un procedimiento de selección con probabilidades iguales, es decir, que todas las unidades de la población van a tener la misma probabilidad de pertenecer a la muestra (equiprobables).

Es así como para establecer el tamaño de muestra se empleó la fórmula de variable cuantitativa para una población finita, donde conocemos el volumen diario registrado mediante la lectura del rotámetro que tiene un caudal constante promedio



de $Q = 1,5 \text{ L/s}$, equivalente a $130 \text{ m}^3/\text{día}$; con lo cual obtenemos una muestra representativa de 83 litros del efluente que discurre por la galería 010SW Nv.0.

3.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Entendiendo de que se aplicó métodos estadísticos y/o matemáticos con la recolección de varios datos y muestras en campo o también conocido “in situ”, el tipo de investigación experimental con la aplicación adecuada de óxido de calcio (cal) y polímeros en la U.M. El Cofre y con su posterior vertimiento a la subcuenca del río Paratia en donde podremos comprobar la hipótesis que estamos planteando en la investigación.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO

3.5.1 Variable independiente (VI)

Variable independiente, son las que pueden argumentar algunas variaciones en las dependientes. Para que se defina la variable dependiente debe existir mínimamente la variable independiente, que podrían ser controladas, no controladas desconocidas hasta indirectas. La variable considerada para nuestro estudio fue:

- Las muestras del efluente del Nv.00 – El Cofre

3.5.2 Variable Dependiente (VD)

Son aquellas variables que describen los resultados de un proceso, en este caso el tratamiento realizado. Como la reducción de cadmio y zinc de los efluentes en nuestra planta de tratamiento. Entonces la variable dependiente del proceso fue:

- Reducción de las concentraciones de metales pesados (cadmio y zinc)



3.6 PROCEDIMIENTO

El procedimiento realizado en el proyecto de investigación se dividió en etapas: donde primeramente se realiza lecturas del rotámetro para determinar la cantidad de caudal en m^3 y que además no vario en gran cantidad, siendo fundamental para aplicar el muestreo, seguidamente se procede a coleccionar las muestras (del efluente de la mina sin tratamiento), en donde 02 envases de polietileno de $\frac{1}{2}$ litro son para análisis de parámetros físicos (pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto), que de igual forma son parámetros que se midieron en campo con el multiparámetro Hach HQ2200 y en otros dos frascos de $\frac{1}{2}$ litro de polietileno se obtiene las muestras para determinar los parámetros inorgánicos de nuestro efluente como son los metales totales, más específicamente en parámetros de zinc y cadmio. Todas las muestras son debidamente resguardadas y enviados a laboratorio para su respectivo análisis y su clasificación.

En segunda instancia, se realizaron los ensayos en laboratorio químico metalúrgico, donde se realiza la etapa experimental con nuestro equipo de test de jarras, tomando las muestras de acuerdo al cálculo el tamaño de muestra y en su defecto sin que pasen las 24 horas, luego se adiciono y evaluó las dosis correctas de los compuestos: oxido de calcio y floculante AR-1849, para el proceso de floculación y coagulación, y su posterior sedimentación, se consideró los tiempos de residencia, velocidades en la agitación a determinadas dosificaciones del oxido de calcio hidratado y del floculante, para ello se utilizó lo siguiente:

- Se utilizaron 83 litros de agua del efluente para realizar las pruebas
- Se hizo ajustes cálculo de la dosificación optima en los insumos.

Finalmente, se evalúa los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos del efluente después de los ensayos de laboratorio:



- Donde 02 muestras de 1 litro en envases de polietileno de muestra clarificada para los parámetros de (pH, oxígeno disuelto = OD, conductividad eléctrica).
- Y 02 muestras de ½ litro para determinar los parámetros inorgánicos (barrido de metales totales), en laboratorios acreditados por INACAL, en este caso fue el laboratorio XERTEK LIFE en la ciudad de Lima.

3.7 DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.7.1 Caracterizaciones físicas químicas y las concentraciones de los metales disueltos del efluente del Nv.0.

3.7.1.1 Monitoreo de puntos de control

En este ítem se establecieron los criterios de cumplimiento obligatorio de las características fisicoquímicas y se vio la calidad de los vertimientos autorizados por la Autoridad Nacional del Agua, que va de acuerdo con el instrumento de gestión ambiental, monitoreando así el impacto del vertimiento de agua del efluente del Nv.0. Para llevar a cabo la determinación de las características físicas y químicas del efluente proveniente del Nv.0 – El Cofre se realizó la medición de parámetros físicos químicos con el multiparámetro HQ2200 con el cual se midió los siguientes parámetros “*in situ*”: potencial de hidrogeno (pH), oxígeno disuelto (OD) y conductividad eléctrica, en la labor Gal 010SW Nv.0, todo se llevó de acuerdo al protocolo de monitoreo de recursos hídricos, y a los puntos autorizados como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7.*Estaciones de monitoreo de agua de la U.M. El Cofre.*

Item	Nombre	Descripción	COORD. WGS 84		Altitud
			Este	Norte	
1	PM-1	Efluente bocamina Nv.0	328 307	8 290 741	4 384
2	Esp-Ari-	Efluente			
3		proveniente de la planta a 14 m de distancia del rio Paratia.	328 201	8 291 108	4 360

Fuente: Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. (CIEMSA)

3.7.1.2 Toma de muestras y reporte de resultados

Posteriormente se realizó la recolección de muestras, que consiste en la obtención del efluente en envases de plástico (PTFE) de capacidad de ½ litro, se tomaron 02 muestras, siendo la segunda una contramuestra. Adicionalmente, se tomó las muestras con todos los equipos de seguridad para no contaminar el efluente a la hora de la recolección, con guantes de nitrilo, agua destilada, cooler, mascarilla, recipientes para captar el efluente de primer uso (nuevos), multiparámetro y GPS para ubicar los puntos autorizados, seguidamente no se realiza la preservación; ya que, el análisis de estas se realizó antes de las 24 horas según protocolo, en laboratorios de la unidad minera TACAZA, del mismo modo poder tener la clasificación de agua proveniente de interior mina y los metales totales. Para mayor detalle veamos la tabla n° 08 que mostramos a continuación, donde debe de cumplir

y estar en lo posible por debajo de los parámetros que se muestran en todo momento.

Tabla 8.

Valores límite de efluente para descarga de actividades Mineras – U.M. El Cofre.

Parámetro	Unidad	Limite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
Potencial de hidrogeno (ph)		6 - 9	6 - 9
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04
Zinc total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: (MINAM, 2010).

3.7.2 Optimización de compuestos químicos de cal y polímero Ar-1849 para remoción de metales mediante precipitación alcalina

3.7.2.1 Test de jarras o “Jar- Test”

Se procedió a evaluar los compuestos químicos y la concentración a utilizar siendo de vital importancia para la tratabilidad del efluente. Se identifico concentraciones con las que el proceso funcione de manera óptima; con la ayuda del equipo de jarras.

En la prueba de jarras se utilizó varias concentraciones del polímero y coagulante en cada jarra, que permitió minimizar elementos disueltos y



materia orgánica a través del proceso de precipitación alcalina; es decir, se simuló los procesos unitarios de precipitación alcalina, con ajustes del pH llegando a parámetros donde la floculación alcanzó mejores resultados, como es la disminución de los metales. Se utilizó este método para determinar la dosis óptima del tratamiento a nivel de laboratorio.

El equipo de jarras contuvo hélices para la agitación permanente donde se colocaron vasos de precipitado, con la velocidad permanente para cada uno que es controlada por un medidor de revoluciones por minuto. Siempre uno de los envases queda fijo donde se controla, mientras que las concentraciones en el resto varían. Se tuvo una iluminación de cada vaso donde se vio de mejor manera las reacciones a la hora que se formó flóculos y estos precipitaron. Es así como se definió los intervalos de tiempo y velocidades de mezcla. De esta manera se programó de manera manual (mezcla rápida, mezcla lenta y reposo para sedimentación).

3.7.2.2 Coagulación-floculación para la precipitación química

El procedimiento de la precipitación experimental constará de varios pasos que se mencionan a continuación.

- Primeramente, se obtuvo una muestra de 83 litros para las pruebas, preparamos nuestros envases colocando 1 000 ml en los recipientes, seguidamente se realizó la adición del coagulante, que está constituido de óxido de calcio, de esta manera se elevó el pH hasta valores promedio 10,5, que son los valores seleccionados con una precipitación óptima para los metales de cadmio y zinc.
- Agitamos a una velocidad de 150 rpm durante un tiempo promedio de 15 minutos, que fue el más recomendado.



- Se realizó la elevación gradualmente desde los valores de 6,3 (valor promedio inicial) hasta 10,5. Teniendo una dosificación de 230 mg/L hasta los 330 mg/L y medimos el valor de pH con el multiparámetro HATCH 2200 con valor de 10,41.
- Se realizó pruebas secuenciales para ver el comportamiento de cada jarra.
- Seguidamente se adicionó el floculante AR-1849, polímero de acrilamida, teniendo en cuenta que esta adición se realizó a valores de pH distintos hasta llegar a los 10,5 promedio, se observó la formación flóculos de mayor dimensión y por ende el favorecimiento para su precipitación a medida que el pH era mayor. Teniendo en cuenta que la agitación fue ajustada a 50 rpm durante 5 minutos.
- Se apago el equipo y dejo un tiempo de reposo para la sedimentación durante 10 a 15 minutos en el mismo recipiente, con el cual se apreció la sedimentación de flóculos de gran tamaño como se puede observar en la figura 17.
- Se extrajo una muestra del agua clarificada y se analizó los parámetros más representativos: pH, OD, conductividad eléctrica. Luego las muestras fueron enviadas a laboratorio para ver la concentración de los metales de cadmio y zinc.

El fin de este procedimiento fue encontrar las concentraciones óptimas para el proceso para generar una buena tratabilidad del agua con una menor inversión.

Diagrama de representación del proceso

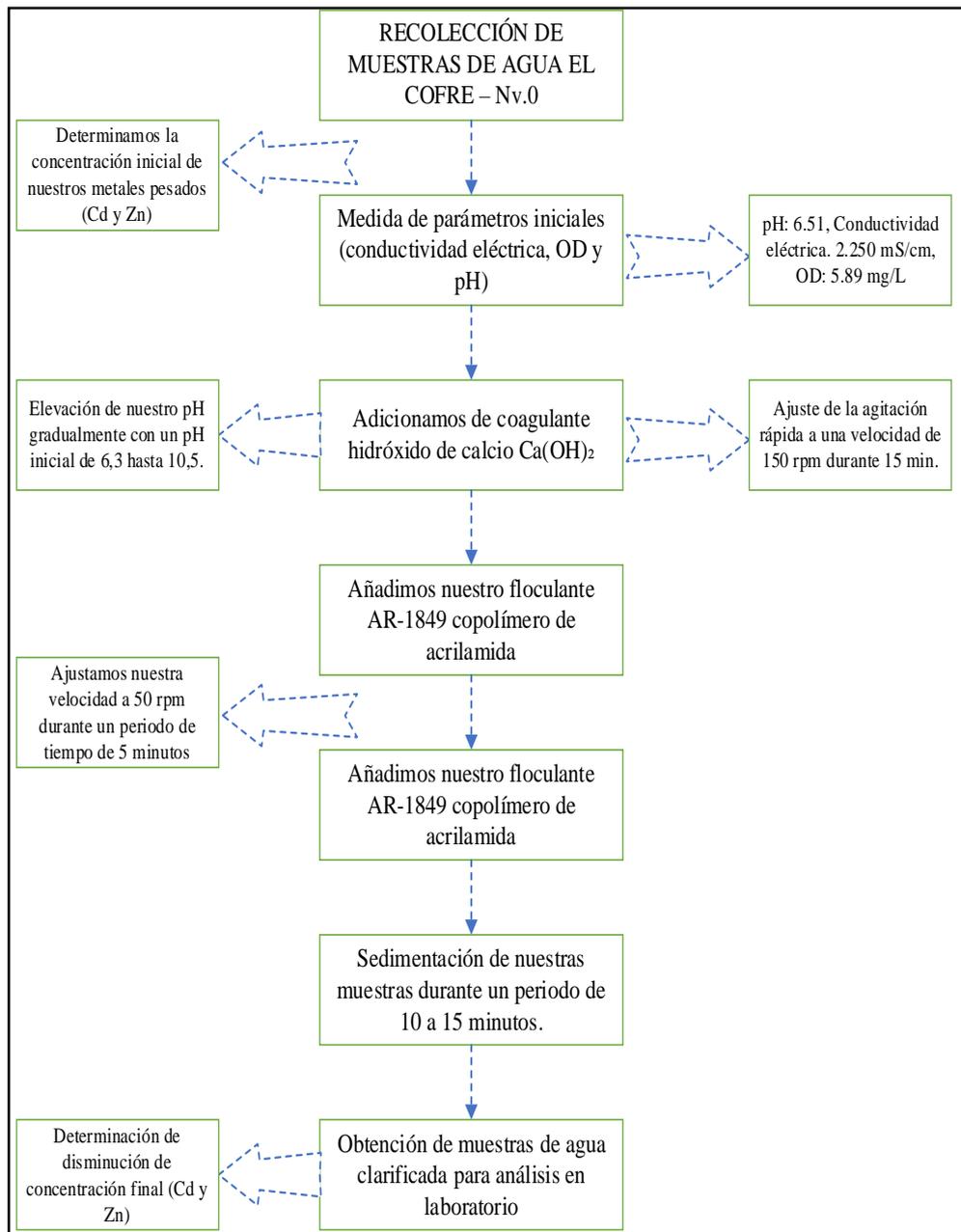


Figura 5. Diagrama de representación del proceso de "Jar Test".

3.7.2.3 Eficacia de la retención de nuestros metales (Cd y Zn)

Para determinar la eficiencia de nuestro tratamiento con óxido de calcio y polímero de los ensayos realizados de sedimentación utilizaremos la siguiente formula:

$$\% = \frac{ci - cf}{ci} \times 100$$

Donde:



Ci = Concentración inicial de metales (Cd y Zn) en el agua del efluente Nv.0

Cf=Concentración final de los metales en el agua después de la precipitación alcalina

3.7.2.4 Diseño Factorial 2^k

Cuando se tiene la investigación experimental, se define como un proceso o técnica en donde que consiste en someter a un grupo de objetos, a ciertos factores o tratamiento para de esta manera ver el producto o reacciones los efectos. Cuando nos referimos al nivel, una investigación experimental es de todas formas explicativa, por lo que la finalidad de esta es mostrar la varianza en una determinada variable dependiente de manera exacta en la relación denominada causa efecto. (Gutiérrez & de la Vara, 2008)

Se denomina diseño factorial 2^k donde los factores que intervienen tendrán dos niveles, cuantitativa con combinaciones, con replicas, este diseño menciona como ejecutar de manera correcta los experimentos y saber cuál es el efecto de k factores sobre los resultados y así saber la relación entre ellos también. (Gutiérrez & de la Vara, 2008)

Para el desarrollo matemático experimental de esta investigación se utilizó el Diseño Factorial 2^K con Minitab 19, para una mejor interpretación de reportes y visibilidad de gráficos con respecto a la matriz de combinaciones. De igual forma, los factores que se optimizó fueron tres factores con dos niveles y dos replicas. Así se definió que le total de experimentos que se realizaron está compuesto por lo siguiente:

$$N = 2^k$$

Donde:

N: Numero de experimentos

K : Numero de variables

Ya que el diseño estadístico de la investigación será ejecutado con los factores: (pH), floculante AR – 1849 y velocidad de agitación.

Tabla 9.

Tabla de variables independientes con niveles máximos y mínimos.

Ítem	Factor	Unidad	Mínimo	Máximo
A	pH	intervalo	9,5	10,5
B	Floculante AR – 1849	mg/ L	800	1000
C	Velocidad de agitación	rpm	120	150

El diseño factorial 2^k asume cierta linealidad y debería de pronosticar de manera adecuada los puntos de diseño, incluyendo el central. De este modo seleccionamos tres factores que según las pruebas intervienen y mejoran la sedimentación de metales pesados de zinc y cadmio por precipitación alcalina.

3.7.2.5 Diseño factorial 2^k con 2 réplicas aplicado y factores relevantes

Considerando tres factores y cada uno de ellos a dos niveles, con replica, el cual cuenta con tres factores de dos niveles cada uno y teniendo en cuenta la teoría de diseño factorial $2K$ contiene ocho combinaciones de niveles de los factores o variables que se pueden distribuir de la siguiente manera: tres principales (A, B y C), tres combinaciones de dos factores (AB, AC, BC) y una combinación de tres factores (ABC) y al tener dos replicas serian 16 combinaciones en total. Entonces el Diseño Factorial 2^k donde “k” es igual a tres variables independientes y “2” serian niveles mínimos y

máximos. En el proceso de reducción de Cd y Zn del efluente consideramos tres factores independientes.

Tabla 10.

Matriz de diseño factorial 2³

Nº Exp.	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	R 1	R 2	∑ Rendimiento
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	R1	R2	y1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	R1	R2	y2
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	R1	R2	y3
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	R1	R2	y4
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	R1	R2	y5
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	R1	R2	y6
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	R1	R2	y7
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	R1	R2	y8

Fuente: (Gutiérrez & de la Vara, 2008)

Así tenemos la ecuación de regresión

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C + b_4AB + b_5AC + b_6BC + b_7ABC$$

Donde:

Y = Variable respuesta al rendimiento para la remoción de metales

A = pH

B = Flocculante AR-1849

C = Velocidad de mezcla o agitación homogénea

b₀, b₁, b₂, b₃, b₄, b₅, b₆, b₇, son los coeficientes de correlación lineal de nuestra ecuación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 VALORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES TOTALES DEL EFLUENTE MINERO PROVENIENTE DEL NV.0 – EL COFRE.

Previamente se realizó la caracterización de nuestras aguas provenientes de interior mina de la U.M. El Cofre del Nv.0 que consiste en determinar la concentración inicial de metales pesados y de igual forma las propiedades fisicoquímicas “*in situ*”.

En la tabla n° 11 podemos ver las características físicas en campo con las cuales debe de cumplir en todo momento los parámetros, de igual forma se obtuvieron muestras que fueron recolectadas y posteriormente enviadas al laboratorio químico metalúrgico de la U.M. TACAZA para su análisis y reporte de resultados, donde se mostró las concentraciones de los metales.

Tabla 11.

Valores límite del efluente para descarga de actividades mineras - U.M. El Cofre

Parámetro	Unidad	Limite en cualquier	Límite para el Promedio
		momento	anual
Ph		6 - 9	6 - 9
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04
Zinc total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: (MINAM, 2010)

4.1.1 Evaluación de las características in situ

Evaluamos la calidad fisicoquímica de las muestras obtenidas, con el multiparámetro HATCH 2200, se midió los parámetros iniciales de conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH, el detalle se puede apreciar en la tabla n° 12.

Tabla 12.

Parámetros fisicoquímicos iniciales del efluente del Nv.0 - U.M. El Cofre.

Parámetros	Símbolo	UD	Efluente	ECA's	ECA's	LMP
			sin tratar	vegetales	animales	
Conductividad eléctrica	C	mS/cm	2 850	2500	5000	**
pH	pH	Parámetros de pH	6,51	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	6 - 9
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	5,89	4	5	**

4.1.2 Obtención de muestras de agua y reporte de resultados– U.M. El Cofre

Se realizó el muestreo de aguas superficiales para una re evaluación de las aguas, en concordancia con lo indicado mediante el hecho imputado N°02, indica que la unidad minera El Cofre, de la empresa Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A, excedió el límite máximo permisible respecto al parámetro de zinc total en el muestreo del mismo año (ver tabla n°07), en el punto de muestro de ESP-1(descarga del Efluente de la Planta Auxiliar de Tratamiento de Efluentes

Líquidos Mineros a un canal de mampostería, a 25 m del río Paratia), con lo cual se le pide el levantamiento de la observación en la brevedad posible. Ya que en el cuerpo receptor se tiene la elevada concentración de zinc y cadmio total, que de acuerdo con el D.S. N° 004-2017-MINAM, en la categoría tres correspondiente a riego de vegetales y bebida de animales, item inorgánicos, sobrepasa lo estipulado y por concerniente también el D.S. 010-2010-MINAM, en el caso particular del zinc total en la subcuenca del río Paratia.

En la siguiente tabla n° 13 se muestra los resultados del monitoreo, de acuerdo con las estaciones de monitoreo que vimos en la tabla 7, en donde consideraremos los puntos del efluente, donde apreciamos que la concentración de zinc y cadmio en el PM-1 es elevada, sobrepasa los límites máximos permisibles en ese punto y de igual forma en el punto denominado Esp-Ari-3, punto adicional.

Tabla 13.

Resultados de muestras de estaciones de monitoreo

Ítem	Unidad Minera	Lugar / Punto de monitoreo	Cadmio (mg/L)	Zinc (mg/L)	pH
Efluente					
1	El Cofre	PM-1	2,051	144,51	6,51
2	El Cofre	Esp-Ari-3	0,045	1,643	7,21

Fuente: Laboratorio Químico U.M. TACAZA - CIEMSA.

Podemos decir, que las aguas del río Paratia sobrepasa la concentración en el parámetro de zinc y cadmio total, en los puntos de muestreo denominado PM-01, lo cual es perjudicial para la población aledaña a la U.M. El Cofre, de esta forma,



como lo indica en la resolución N° 0008-2019-OEFA/DSEM, y en concordancia con la Ley General del Ambiente, el entorno tiene elementos físicos, químicos y biológicos de forma natural que, de manera individual o asociada, conforman el medio donde se desarrolla la vida. Entonces, cuando las sociedades pierden armonía con el entorno y se percibe la degradación, el ambiente será un bien jurídico protegido. Es por ello que, para preservar la cadena trófica del río Paratia y la población, se debe realizar el tratamiento, de tal manera evitar los daños a la salud del pueblo y de la crianza de los animales propias de la zona. Por lo expuesto, se debe mejorar el tratamiento de los efluentes para controlar los metales totales y evitar la contaminación de cuerpos receptores de agua, el tratamiento se realiza mediante el proceso de coagulación floculación y posterior sedimentación de los metales disueltos que, según teoría y antecedentes, además de ser baratos y sostenibles en la etapa de cierre son muy eficientes.

4.2 PARÁMETROS DE DOSIFICACIONES OPTIMAS DE ÓXIDO DE CALCIO Y POLÍMERO PARA REDUCCIÓN DE LOS METALES MEDIANTE EL PROCESO DE PRECIPITACIÓN ALCALINA.

Para obtener la adecuada dosificación de los insumos y la disminución de concentraciones altas de Cd y Zn con hidróxido de calcio y floculante AR-1849, se realizó pruebas experimentales con las siguientes condiciones de operatividad:

Volumen de agua	: 83 L	
Concentraciones de Cadmio	: 2,051	mg/L
Concentración de Zinc	: 144,51	mg/L
Oxido de Calcio	: 300 - 330	mg/L
Floculante AR- 1849	: 800 – 1000	mg/L



Potencial de hidrogeno (pH) : 9,5 – 10,5
Velocidad de agitación : 120 - 150 rpm

Tabla 14.

Reporte de resultados de remoción de Cd y Zn con dos replicas.

N°	pH	Floc. (mg/L)	Velocidad	Cd _I (mg/L)	Cd _F (mg/L)	% de remoción	Zn _I (mg/L)	Zn _F (mg/L)	% de remoción	% promedio de remoción
1	9,5	800	150	2,05	0,035	98,29	144,5	1,909	98,68	98,49
2	10,5	800	150	2,05	0,030	98,54	144,5	0,580	99,60	99,07
3	9,5	1000	120	2,05	0,050	97,56	144,5	1,930	98,66	98,11
4	10,5	1000	150	2,05	0,028	98,63	144,5	0,456	99,68	99,16
5	9,5	1000	150	2,05	0,053	97,42	144,5	1,824	98,74	98,08
6	10,5	1000	120	2,05	0,026	98,73	144,5	0,528	99,63	99,18
7	10,5	800	120	2,05	0,030	98,54	144,5	0,884	99,39	98,96
8	10,5	800	150	2,05	0,033	98,39	144,5	0,528	99,63	99,01
9	10,5	1000	150	2,05	0,026	98,73	144,5	0,438	99,70	99,21
10	9,5	800	120	2,05	0,036	98,24	144,5	1,729	98,80	98,52
11	10,5	800	120	2,05	0,033	98,39	144,5	0,796	99,45	98,92
12	9,5	800	120	2,05	0,038	98,15	144,5	1,694	98,83	98,49
13	9,5	1000	150	2,05	0,050	97,56	144,5	1,848	98,72	98,14
14	9,5	1000	120	2,05	0,050	97,56	144,5	1,957	98,65	98,10
15	10,5	1000	120	2,05	0,025	98,78	144,5	0,568	99,61	99,19
16	9,5	800	150	2,05	0,034	98,34	144,5	1,911	98,68	98,51

En la tabla 14 se ve la matriz del diseño factorial con reportes para cada combinación de tres factores y las interacciones entre estas mismas, es decir para cada experimento desarrollado en laboratorio, teniendo 16 ensayos realizados que se combinan de la siguiente manera: el valor medio, los tres efectos primordiales, tres efectos de interacción entre dos factores y finalmente una interacción entre tres factores juntos.

En nuestra tabla 14 también podemos ver el porcentaje de la remoción de los metales disueltos como el cadmio (Cd) y zinc (Zn), producto del tratamiento mediante el proceso de coagulación floculación y precipitación mediante la agitación. Entonces de acuerdo con el diseño factorial 2³ con dos replicas; es decir, se hizo dos veces cada experimento teniendo un resultado de 16 pruebas experimentales con los tres factores,



con valores de pH (9,5 -10,5), concentración de floculante AR-1849 (800 – 1000 mg/L) y la velocidad de agitación que oscilan desde (120 – 150 rpm). Además, podemos ver que se muestran los valores iniciales de las concentraciones de los metales y de igual forma las concentraciones finales, el porcentaje de remoción para cada uno se obtuvo de la resta de la concentración inicial y final entre la concentración inicial multiplicado por cien y de esta manera, en la última columna se tiene un promedio de porcentaje de remoción, determinando cuál de las combinaciones de los componentes de mezcla dieron resultados más favorables para el tratamiento.

Además, podemos observar en la tabla que la máxima precipitación de los metales fue en el caso del cadmio desde 2,05 mg/L de concentración inicial que bajo hasta los 0,025 mg/L, con un porcentaje de rendimiento a un 98,78 % y para la concentración de zinc se obtuvo una concentración inicial de 144,5 mg/L, que baja hasta los 0,438 mg/L y un rendimiento del 99,70% mediante la coagulación floculación y sedimentación.

Los factores relevantes que se deben tener en cuenta para la técnica de Coagulación-Floculación es las dosis químicas más apropiadas, el efecto energético de la mezcla homogénea; coagulante, polímero y velocidad que se imprima para la agitación y obtener una buena mezcla.

4.2.1 Análisis y tratamiento del diseño factorial

Se realizó el diseño factorial 2^3 con dos réplicas siendo aleatoria los experimentos desarrollados, fue importante ya que de esta manera se evitó que el efecto de un factor se confunda con otro factor no intencionado y de esta forma se tenga en el reporte de los efectos. Para ejecutar el diseño experimental se utilizó el software Minitab 19, este software proporciona herramientas con las cuales creamos el diseño factorial y se tuvo las respuestas de los efectos, así como también



de las interacciones, en la tabla 15 se muestra el resumen de este diseño proporcionado por Minitab.

Tabla 15.

Resumen del diseño en Minitab para el diseño factorial 2^3

Factores:	3	Diseño de la base:	3; 8
Corridas:	16	Réplicas:	2
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

En la tabla número 16 se muestra el reporte de las dieciséis interacciones. El cálculo de los efectos que tuvimos fue realizado a partir de las respuestas de todos los experimentos realizados, de esta manera se redujo la incertidumbre del valor estimado.

De igual forma vemos en nuestra tabla, que se muestra el valor de la Constante, 98,91. Este es el valor en el cual variaron todas las respuestas, es decir, muestra alrededor de que rendimiento se encuentran las respuestas de las diferentes combinaciones que proceso el software. En la columna del efecto es la suma y resta del porcentaje del promedio de la remoción de los metales (según dependa en base a la matriz del diseño 2^k que se diseñó en Minitab) y el tamaño del coeficiente será la mitad del tamaño del efecto.

El efecto muestra el cambio en la respuesta media, cuando una variable cambia de su nivel mínimo a al alto. Las columnas no están correlacionadas, sino que son ortogonales, con tantos signos + (valor alto) como signos - (valor bajo), tenemos el factor de inflación de varianza (FIV) perfectamente ortogonal siendo todos los factores iguales a 1,0, básicamente no están correlacionados las variables predictivas de los factores.

Tabla 16.

Resultado de cálculo de efectos en Minitab para el diseño 2^3 con dos replicas.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		98,6974	0,0074	13255,87	0,000	
pH	0,78397	0,39199	0,00745	52,65	0,000	1,00
Floculante	-0,09800	-0,04900	0,00745	-6,58	0,000	1,00
Velocidad	0,02256	0,01128	0,00745	1,51	0,168	1,00
pH*Floculante	0,29501	0,14751	0,00745	19,81	0,000	1,00
pH*Velocidad	0,02611	0,01306	0,00745	1,75	0,118	1,00
Floculante*Velocidad	-0,02305	-0,01153	0,00745	-1,55	0,160	1,00
pH*Floculante*Velocidad	-0,02723	-0,01362	0,00745	-1,83	0,105	1,00

4.2.2 Análisis de varianza con Minitab

En la tabla 17, mediante la herramienta proporcionada por Minitab llamada ANOVA fraccio la variabilidad del porcentaje de remoción de nuestros metales Cd y Zn, de esta manera mostro el valor estadístico de cada efecto comparado su cuadrado medio versus el estimado del error. Entonces se obtuvo, tres efectos que tiene el Valor P menor al $\alpha=0,05$ (5 %), mostrando que son diferentes de cero con un nivel de confianza igual o mayor a 95,0 %.

En nuestra tabla 17 también se observó que las variables más significativas son el pH y floculante, de igual forma la interacción de ambos pH*floculante, llegando a tener valores de 0,000 en los tres casos, donde ninguno sobrepasa el $\alpha=0,05$. Entonces se deduce que las concentraciones de pH y floculante intervinieron de manera significativa en la remoción de los metales disueltos.



Tabla 17.

Tabla de análisis de varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	2,85485	0,40784	459,80	0,000
Lineal	3	2,49890	0,83297	939,10	0,000
pH	1	2,45845	2,45845	2771,70	0,000
Floculante	1	0,03841	0,03841	43,31	0,000
Velocidad	1	0,00204	0,00204	2,29	0,168
Interacciones de 2 términos	3	0,35298	0,11766	132,65	0,000
pH*Floculante	1	0,34813	0,34813	392,48	0,000
pH*Velocidad	1	0,00273	0,00273	3,07	0,118
Floculante*Velocidad	1	0,00213	0,00213	2,40	0,160
Interacciones de 3 términos	1	0,00297	0,00297	3,34	0,105
pH*Floculante*Velocidad	1	0,00297	0,00297	3,34	0,105
Error	8	0,00710	0,00089		
Total	15	2,86194			

Entonces el resumen del modelo dado por Minitab quedo de la siguiente manera:

Tabla 18.

Resumen del modelo.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (predictivo)
0,0297823	99,75%	99,54%	99,01%

El valor de $R^2 = 99,75\%$ se ajustó de manera notoria al modelo, debido a que es más próximo al 100%, luego se tiene la desviación estándar, siendo la distancia entre R^2 y R^2 ajustado que no difiere mucho, el R^2 ajustado se utilizó para comparación de modelos que tengan diferentes números de predicciones, al igual que el R^2 predictivo, en este caso un R^2 predictivo que no está alejado del R^2 , lo cual indica que no está sobre ajustado.

Por último, se tiene la ecuación del modelo ajustado fue: %Rendimiento = $141,2 - 4,31 \text{ pH} - 0,0535 \text{ Floculante} - 0,1731 \text{ Velocidad} + 0,00540 \text{ pH} \cdot \text{Floculante} + 0,01808 \text{ pH} \cdot \text{Velocidad} + 0,000174 \text{ Floculante} \cdot \text{Velocidad} - 0,000018 \text{ pH} \cdot \text{Floculante} \cdot \text{Velocidad}$.

4.2.3 Diagrama de Pareto

Con Minitab se pudo ver el efecto de los tres factores, así como las combinaciones de una forma más visible, lo cual hizo posible una mejor interpretación del reporte. Para lo cual se utilizó varios esquemas que proporciona Minitab, es así que se utilizó el diagrama de Pareto que se muestra en la figura 12.

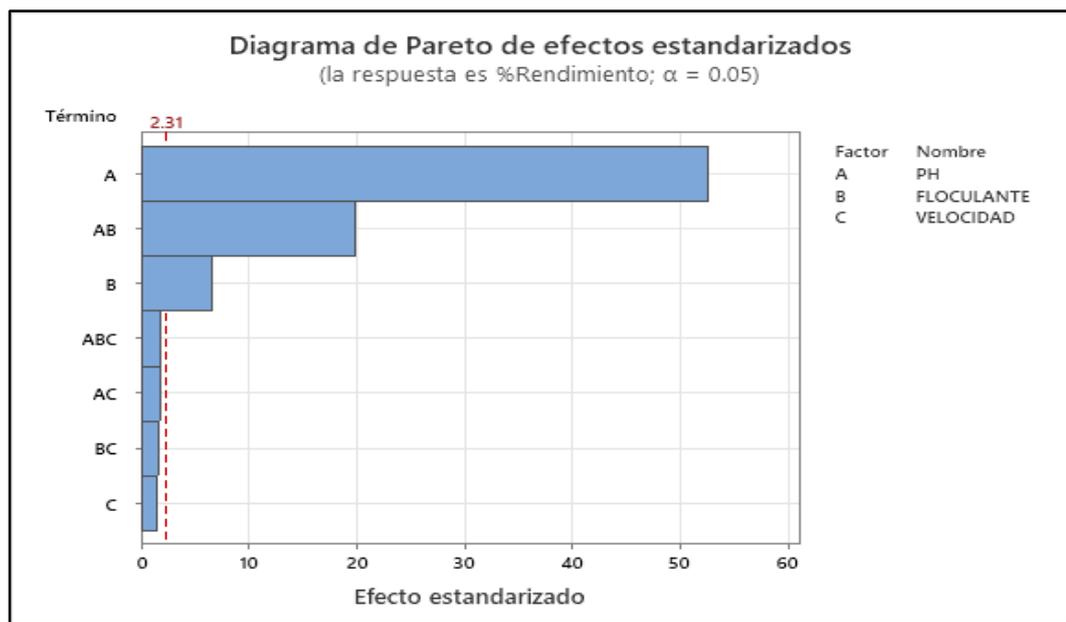


Figura 6. Diagrama de Pareto de los efectos del diseño factorial 2^3 con replica.



En la figura 8 Minitab mostro un esquema estandarizado de efectos colocando los valores absolutos en orden decreciente. La línea marcada de color rojo es el límite en el esquema que señalo que efectos fueron los más significativos. De manera predeterminada, Minitab 19 utilizó el nivel de significancia de 0,05 para la línea de referencia. Que quiere decir sin ningún término de error, Minitab utilizó el método de Lenth para dibujar la línea de referencia.

En el diagrama de Pareto de la figura 8 se observó como el factor principal que mostro un mayor efecto en la remoción de los metales pesados disueltos, fue el componente A (potencial de hidrogeno pH), algo que también se mostró con un valor numérico en nuestra tabla 16 con un valor de 0,78397.

En el diagrama de Pareto estuvo en función a los resultados del porcentaje de rendimiento de la remoción de metales en base a cada experimento realizado, se observó por orden, de mayor a menor efecto, los denominados factores o combinaciones. Se pudo concluir, que los factores que superan la franja roja son los denominados factores significativos, el factor A (pH), seguido de la interacción AB (ph*floculante) y el factor B (floculante), estos tres factores fueron los más relevantes en el tratamiento. Entonces, se tuvo en cuenta los valores que tienen un mayor efecto que el resto, pero también fue necesario considerar a los que se encuentran por debajo de línea roja a pesar de que no fueron significativos como tal.

Un valor de efecto igual a 0,78397 indico que la variación de los valores de pH de 9,5 a 10,5 que es directamente proporcional con la adición de concentración de cal (CaO), el rendimiento de la remoción de los metales disueltos de Cd y Zn aumento en esos valores. El signo de este valor nos indicó si aumenta o disminuye la respuesta.

4.2.4 Gráfica de efectos principales para el rendimiento

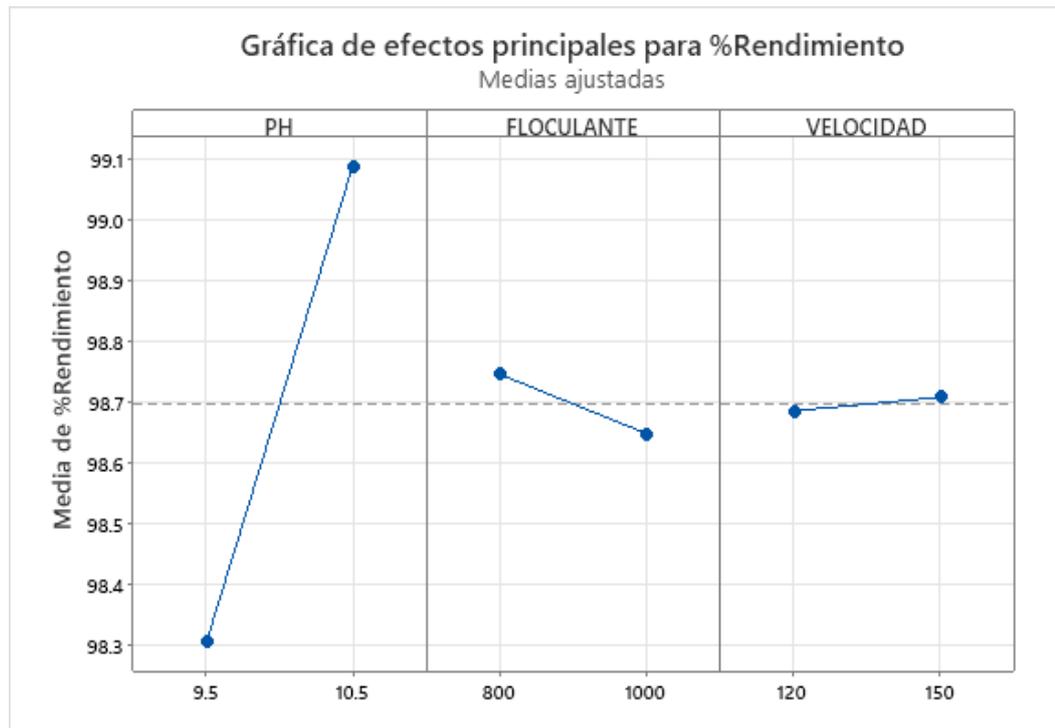


Figura 7. Efectos principales del diseño factorial para la remoción de metales.

Del mismo modo se observó la figura 9 y se dedujo que el efecto con mayor relevancia son los valores de pH que estaba ligado con las concentraciones de óxido de calcio (CaO), muy adicionalmente de indicar que este cambio es en orden ascendente al máximo valor de pH, entonces se vio que el factor de pH a medida que se aumentó su valor el porcentaje de rendimiento para la remoción de metales disueltos también aumentó con un mayor % de rendimiento y estos es lógico; ya que, si se analiza, a mayor valor de pH que se tenía estuvo asociado directamente a la concentración máxima de óxido de calcio que fue de 330 mg/L.

Por otro lado, para el factor B que es el floculante Ar-1849, el efecto en el factor principal mas no en las interacciones fue negativo por lo que el rendimiento disminuyo al cambiar las concentraciones de 800 mg/L a 1000 mg/L. Finalmente, la velocidad de agitación tuvo un efecto positivo, por lo que al aumentar la velocidad de 120 rpm a 150 rpm aumentó el rendimiento, por lo que a mayor

agitación más uniforme fue la mezcla homogénea; ya que, los componentes de se diluyeron mejor a una mayor velocidad y repercutió en la sedimentación de flóculos.

4.2.5 Gráfica de cubos

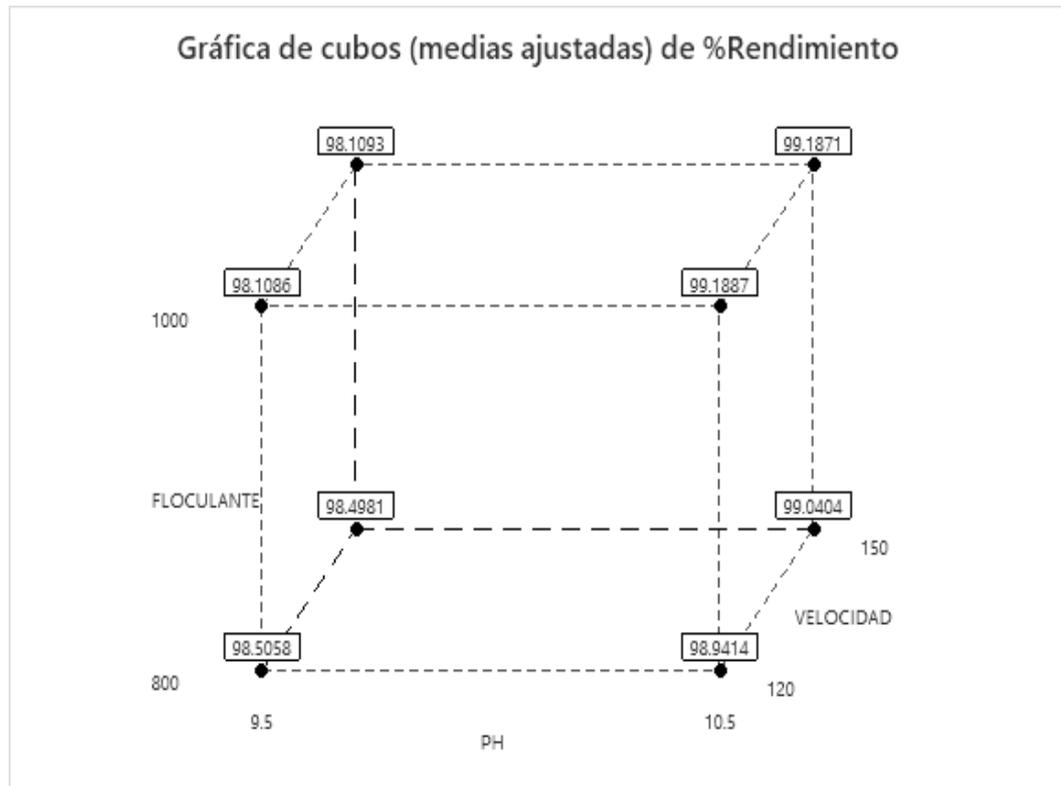


Figura 8. Diagrama de cubos para los efectos del tratamiento con los componentes.

Para una mejor interpretación de los efectos del tratamiento fue interesante utilizar la figura 10, para el efecto del floculante se consideró las caras superiores de los cubos frente a las caras inferiores de los cubos.

Analizando solo los efectos principales se infiere que las mejores condiciones a la hora de nuestro tratamiento para la remoción de los metales pesados fueron con valores altos de pH estable en el valor de 10,5, con una baja concentración del componente C (floculante AR-1849) manteniéndose en 800 mg/L y con una velocidad de agitación de 120 rpm.

4.2.6 Gráfica de interacciones para el % de rendimiento.

No obstante, para no tener una conclusión errónea en los experimentos realizados fue preciso considerar los efectos de las interacciones de los tres factores.

Los efectos de las interacciones midieron la influencia que tuvo las interacciones de los componentes en reporte final. Se observó las interacciones en el esquema que Minitab proporcionó en la figura 11.

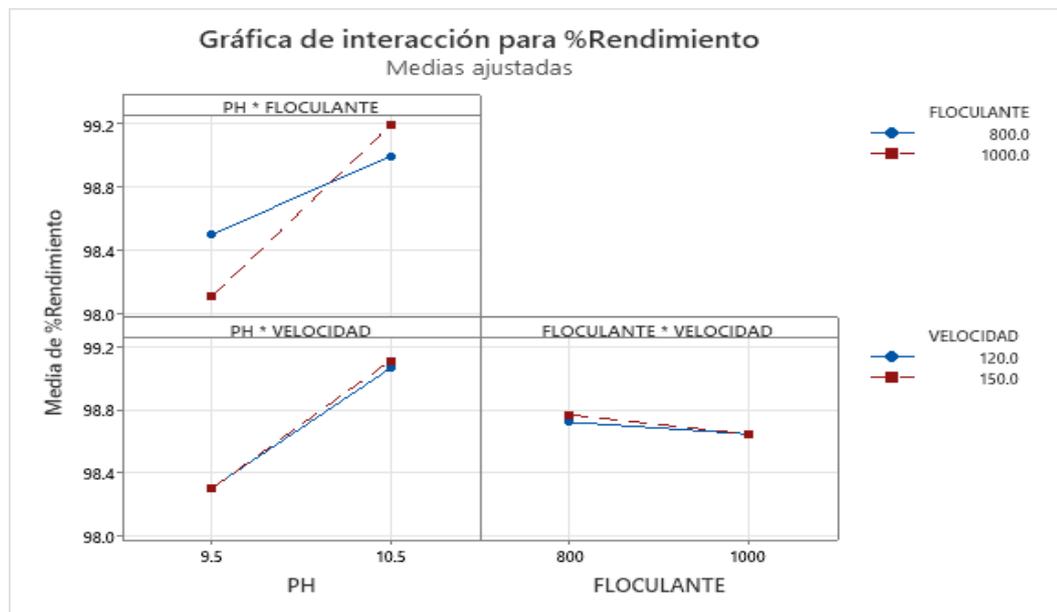


Figura 9. Interacciones de factores en base al rendimiento de remoción de metales

En la figura 11 se observó el valor de la interacción pH*floculante AR-1849 mostrando un efecto con un valor alto en la respuesta, al observar esta reveló como el mayor rendimiento en cuanto a la precipitación de metales disueltos se dio cuando el pH elevado a 10,5 con una concentración de floculante de 1000 mg/L.

Luego, la interacción pH*velocidad de agitación, fue muy relevante también; ya que, a medida que se subió el pH hasta 10,5 de manera conjunta con la velocidad hasta 150 rpm el rendimiento del tratamiento fue más eficiente con resultados positivos para el rendimiento en general, lo que ya se había visto en el diagrama de Pareto.

Por otro lado, la velocidad*floculante mostró, que la velocidad en parámetro de 120 a 150 rpm, con concentraciones de 800 y 1000 mg/L no influyeron tanto como las dos interacciones, y se mantuvo de manera equilibrada como se ve en la figura 11.

4.3 DISCUSIÓN

A partir de los ensayos y evidencias mostradas anteriormente en la presente investigación y la evaluación de estos, se acepta la hipótesis general propuesta para el tratamiento de efluentes mineros con metales pesados, mediante la precipitación alcalina con dosis optimas de los compuestos químicos; y a partir de ello, precipiten los iones metálicos de cadmio (Cd) y zinc (Zn) del efluente, reduciendo de manera notable los metales pesados disueltos provenientes de interior mina, de la “U.M. El Cofre” – Lampa.

4.3.1 Determinación de las propiedades física y químicas del efluente.

Los resultados que se obtuvieron en la presente investigación van acorde con las investigaciones de los autores (Soloisolo, 2021) y (Jimenez, 2017) quienes señalan, que la caracterización y evaluación previa de efluentes fueron realmente importantes; ya que, debido a ello conocieron los aspectos fisicoquímicos que ayudaron a caracterizar la calidad de agua previo a ensayos de tratabilidad. Seguidamente se repitió la caracterización después de los ensayos, en los parámetros físicos, como son: potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD) y la conductividad eléctrica.

De igual forma se tiene relación con lo que afirman los autores (Aguirre & Huaman, 2019) quienes indican, que el drenaje de mina debe ser caracterizado en pruebas de laboratorio para corroborar que se tenga la presencia de los metales pesados elevados, teniendo como referencia lo estipulado en la normativa vigente LMP's y ECA's, y así escoger una metodología lo suficientemente factible.

4.3.2 Cuantificación de insumos para la precipitación alcalina

De esta manera el reporte de resultados obtenidos tiene semejanza también con lo que sostienen algunos autores como parte de las investigaciones realizadas, (Zamora & Trujillo, 2016) y (Aguirre & Huaman, 2019), donde afirman que, las aguas tenían metales pesados por descargas de interior mina, y que usando un agente o compuestos neutralizantes como fue el caso del óxido de calcio (CaO) con un porcentaje de pureza del 98%, se logró precipitar de manera considerable los metales a más de un 95 %.

Respecto a el factor de pH se concuerda con los autores (de la Cruz , 2019) y (Chipana, 2018), que el valor de pH donde mayor precipitación se dio fue a más de 10,1, siendo este valor el óptimo en cuanto a la tratabilidad del agua se refiere con contenido de metales pesados disueltos en efluentes.

De acuerdo con Cadarin *et al.* (2007), asevera que tuvo un gran impacto en la eliminación de los metales de la mina de carbón Brasil, donde utilizo cal y llego a tener buenos resultados de remoción. También en nuestra investigación llegamos a tener rendimientos mayores a 95%, teniendo buena calidad de agua.

Finalmente, los autores (Huanca & Flores, 2020) y (Pancca, 2016), manifiestan, el uso de diseños estadísticos de la mano con diferentes softwares para el procesamiento de datos, para mejorar y observar el comportamiento de los factores que intervinieron en el proceso de tratamiento de las aguas, siendo clave para la interpretar los datos, visualización de gráficos y tener un buen diagnóstico. De esta manera, se coincide usar softwares como el uso del Minitab como una herramienta para el tratamiento de datos, como se hizo en esta investigación e incidir aún más en las variables más representativas.



V. CONCLUSIONES

Se estableció que el tratamiento de efluentes mediante el proceso de coagulación – floculación y sedimentación, con ensayos de tratabilidad en laboratorio y con dosificaciones óptimas de los compuestos químicos, redujo y llegó a precipitar los metales pesados disueltos, en el zinc a valor mínimo de 0,438 mg/L, teniendo un 99,70% de reducción y en el cadmio se precipito hasta el valor mínimo de 0,025 teniendo un 98.78% de reducción, de esta manera se tuvo un alto % de remoción.

Se evaluó la caracterización del efluente, donde se obtuvieron características físicas: pH de 6,51, conductividad eléctrica de 2850 mS/cm donde se notó iones disueltos en el agua, y oxígeno disuelto con valor de 5,89 mg/L que fue la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en agua, siendo fundamental para la vida en la subcuenca del río Paratia. De igual forma, se obtuvo concentraciones de metales disueltos en, zinc 144,5 mg/L y cadmio 2,05 mg/L del efluente. Entonces, el efluente tiene el potencial de dañar y alterar la cadena trófica del río.

Finalmente, se concluye que las dosificaciones más óptimas encontradas de los compuestos químicos para la precipitación de los metales pesados fueron, óxido de calcio (cal) para elevar el pH a valor promedio de 10,5 fue de 330 mg/L y del polímero AR-1849 tuvo una concentración de 1000 mg/L. Así mismo, de acuerdo con el análisis del diseño factorial 2^3 con dos replicas en Minitab, los factores con mayor relevancia fueron el uso de óxido de calcio, floculante AR-1849, la interacción entre estas mismas (pH*floculante) a una velocidad de 150 rpm para la mezcla homogénea y que el R^2 se ajustó más en base a estos dos factores.



VI. RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar el tratamiento de aguas de contacto mediante el proceso de precipitación alcalina y el uso de polímeros como floculantes con dosis adecuadas, debido a que es uno de los procedimientos más bajos en cuanto a costos operativos se refiere, con una alta eficiencia a la hora de la remoción de los metales tóxicos y además sedimenta los sólidos en suspensión. Por otro lado, se debe tener en cuenta, las características fisicoquímicas de los compuestos como: % pureza del óxido de calcio y tipos de polímeros para realizar de manera adecuada el tratamiento.

Establecer una red de monitoreo de aguas superficiales de las principales cuencas del departamento de Puno y de manera más precisa las que se vierten a cuerpos receptores producto de actividades minero-metalúrgicas y de esta manera poder determinar la presencia de metales pesados disueltos que pudieran contener y así establecer medidas de acción para la preservación, control y cuidado del medio ambiente.

Es recomendable, realizar pruebas y/o ensayos a nivel de laboratorio con los compuestos químicos, y encontrar las dosificaciones más óptimas. Del mismo modo, mientras mayores muestras o ensayos se vayan a realizar a escala de laboratorio de un tratamiento de aguas; ya sea, con el diseño factorial 2^k u otros, mucho mejor serán los resultados a la hora de la evaluación de los factores y sus interacciones entre sí, mientras más factores intervengan en el tratamiento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, B., Anderson, R., Bless, D., Butler, B., & Conway, B. (2014). *Guia de Referencia de las Tecnologías de Tratamiento de las Aguas Mineras*. Washintong D.C, Estados Unidos: United States Environmental Protection Agency.
<https://www.epa.gov/remedytech/reference-guide-treatment-technologies-mining-influenced-water>
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Ácido de Mina Generación y Tratamiento*. Madrid, España: Instituto Geológico Minero de España.
http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf
- Aguirre, W., & Huaman, R. (2019). *Eficiencia del tratamiento del drenaje ácido de mina en la bocamina prosperidad con método químico empleando cal a nivel de laboratorio*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15018>
- Andia, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, Lima, Perú.
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua* (Tercera ed.). Santa Fe de Bogotá, Colombia: Editorial Nomos S.A. Retrieved from
https://www.academia.edu/49010823/Teoria_y_Practica_de_la_Purificacion_del_H2O_Tomo_1_Arboleda_Valencia
- Barrenechea, A. (2004). *Tratamiento de Agua Para Consumo Humano*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf
- Briceño, G. (2022, setiembre 09). *Euston96*. <https://www.euston96.com/sedimentacion/>



- Brown, T., LeMAY, H., Murphy, C., Bursten, B., & Woodward, P. (2014). *Química La Ciencia Central* (Décimo Segunda ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación de México.
https://www.pearsonenespanol.com/mexico/educacion-superior/brown_index
- Cadorin, L., Carissimi, E., & Rubio, J. (2007). Avances en el tratamiento de aguas ácidas de minas. *Scientia Et Technica*, 1(36), 849-854.
doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.5167>
- Caviedes, D. I., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodriguez, D., & Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 73-90. doi:<https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- Chipana, W. (2018). *Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas acidas en la mina la Rinconada - Puno*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3279661>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Coyoacán, Mexico: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- de la Cruz, Y. (2019). *Efecto de la dosificación de la lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huaron 2018*. Universidad Continental, Huancayo, Lima.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5636/1/IV_FIN_107_TE_De_La_Cruz_Lima_2019.pdf
- Guadarrama, R., Kido, J., Roldan, G., & Salas, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10.
https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recur



sos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf

Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos* (Segunda ed.).

México D.F., México: McGraw-Hill.

https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*.

México D.F., México: McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A.

<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Huanca, Y., & Flores, F. (2020). *Remoción de fósforo total con cal artesanal en aguas de la bahía Sur del lago Titicaca de Puno*. Universidad Peruana Union, Juliaca, Perú.

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3314>

Huerta, K. (2022, Abril 01). <https://contyquim.com/>.

<https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas>

INRENA. (2005). *Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa*. Puno: Instituto Nacional de Recursos Naturales.

<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/592.pdf>

Jimenez, C. C. (2017). *Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi – Puno*. Universidad Peruana Union, Lima, Perú.

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/856>

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/856>

Kanthi, S. (2015). Methods of removing heavy metals from industrial wastewater.

Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies, 1(1), 12-18.

https://www.researchgate.net/publication/287818349_Methods_of_Removing_Heavy_Metals_from_Industrial_Wastewater

https://www.researchgate.net/publication/287818349_Methods_of_Removing_Heavy_Metals_from_Industrial_Wastewater



- Knox, J. (2018). *Principios marco sobre los derechos humanos y el medio ambiente*. Nueva York, Estados Unidos: Naciones Unidas.
https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Issues/Environment/SREnvironment/FP_ReportSpanish.PDF
- Kuyucak, N. (2006). *Selecting suitable methods for treating mining effluents*. PerCan Mine Closure, Ontario, Canada.
https://www.researchgate.net/publication/279760380_Selecting_suitable_methods_for_treating_mining_effluents
- López, E., Aduvire, O., & Baretino, D. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 113(1), 3-21. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-centro-del-peru/quimica/4-articulo-cientifico/23426286>
- Mazille, F., & Spuhler, D. (2022, Marzo 21). *Sustainable Sanitation and Water Managment*. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n-y-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>
- MINAM. (2010, Marzo 17). Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. *El Peruano*, pp. 415675-415676.
<https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
- MINAM. (2017, Junio 7). Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas y establecen disposiciones complementarias. *Diario el Peruano*, pp. 10-19.
<https://sinia.minam.gob.pe/normas/estandares-calidad-ambiental>



- Oliva, J., Glacoman, G., & Pérez, M. (2008). Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico. *Ingeniería*, 12(2), 17-29.
<https://www.redalyc.org/pdf/467/46712202.pdf>
- Ordoñez, J. (2011). Cartilla técnica: Aguas subterráneas - acuíferos. *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico* (pp. 5-43). Lima: Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-08846.
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Pabón, R., Benitez, R., Villa, S., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Panca, O. (2016). *Remoción del fluoruro en agua potable por precipitación - floculación con policloruro de aluminio y lechada de cal*. Puno, Perú.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8631830>
- Ramirez, G. R. (2013). *Estudio técnico del tratamiento de aguas acidas*. Callao, Perú.
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/402>
- Sánchez, F. (2007). *Tratamientos combinados físico-químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera*. Universidad de Extremadura, Badajoz, España.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=1486>
- Soloisolo, H. (2021). *Propuesta de tratamiento de drenaje ácido generado por la Unidad Minera Arasi en la microcuenca del Río Llallimayo Puno - 2019*. Tesis pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
<http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/1746/browse?type=subject&value=Calidad+de+agua>



- Tejada, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la Unidad Operativa Minera Santiago - B.* Puno, Perú. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4695>
- Verdugo, L. A. (2013). *Remoción de iones sulfato y metales pesados desde soluciones acuosas que simulan aguas de mina usando mezcla de cal, silicatos nanoestructurados y policloruro de aluminio en una celda DAF.* Universidad de Chile, Santiago, Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115113>
- Zamora, G., & Trujillo, E. (2016). Planta de Tratamiento en Interior Mina de las Aguas Ácidas de la Mina San José - Oruro Bolivia. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 5-11.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522016000100001



ANEXOS



Anexo 1. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas.

Parámetro	Unidad	Limite en cualquier momento	Limite par el promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Solidos 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

FUENTE: DS. N° 010-2010-MINAM



Anexo 2. Estándares de Calidad Ambiental: Categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales.

Parámetros para riego de vegetales de tallo alto y tallo bajo			Parámetro para bebida de animales
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	VALOR
Fisicoquímicos			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero escala	100 a	100 a
Conductividad	(μ S/cm)	2500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	0,5
Fenoles	mg/L	0,002	0,01
Fluoruros	mg/L	1	**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ - N)	mg/L	100	100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 5
Potencial de hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000	1 000
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cromo total	mg/L	0,1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Níquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Zinc	mg/L	2	24
Orgánico			
<u>Bifenilos Policlorados</u>			
Bifenilos Policlorados (PCB)	μ g/L	0,04	0,045
Plaguicidas			
Paratión	μ g/L	35	35
<u>Organoclorados</u>			
Aldrin	μ g/L	0,004	0,7
Clordano	μ g/L	0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	μ g/L	0,001	30
Dieldrin	μ g/L	0,5	0,5
Endosulfan	μ g/L	0,01	0,01
Endrin	μ g/L	0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	μ g/L	0,01	0,03
Lindano	μ g/L	4	4
<u>Carbamato</u>			
Aldicarb	μ g/L	1	11
Microbiológicos y Parasitológico			
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	1000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1000	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	**

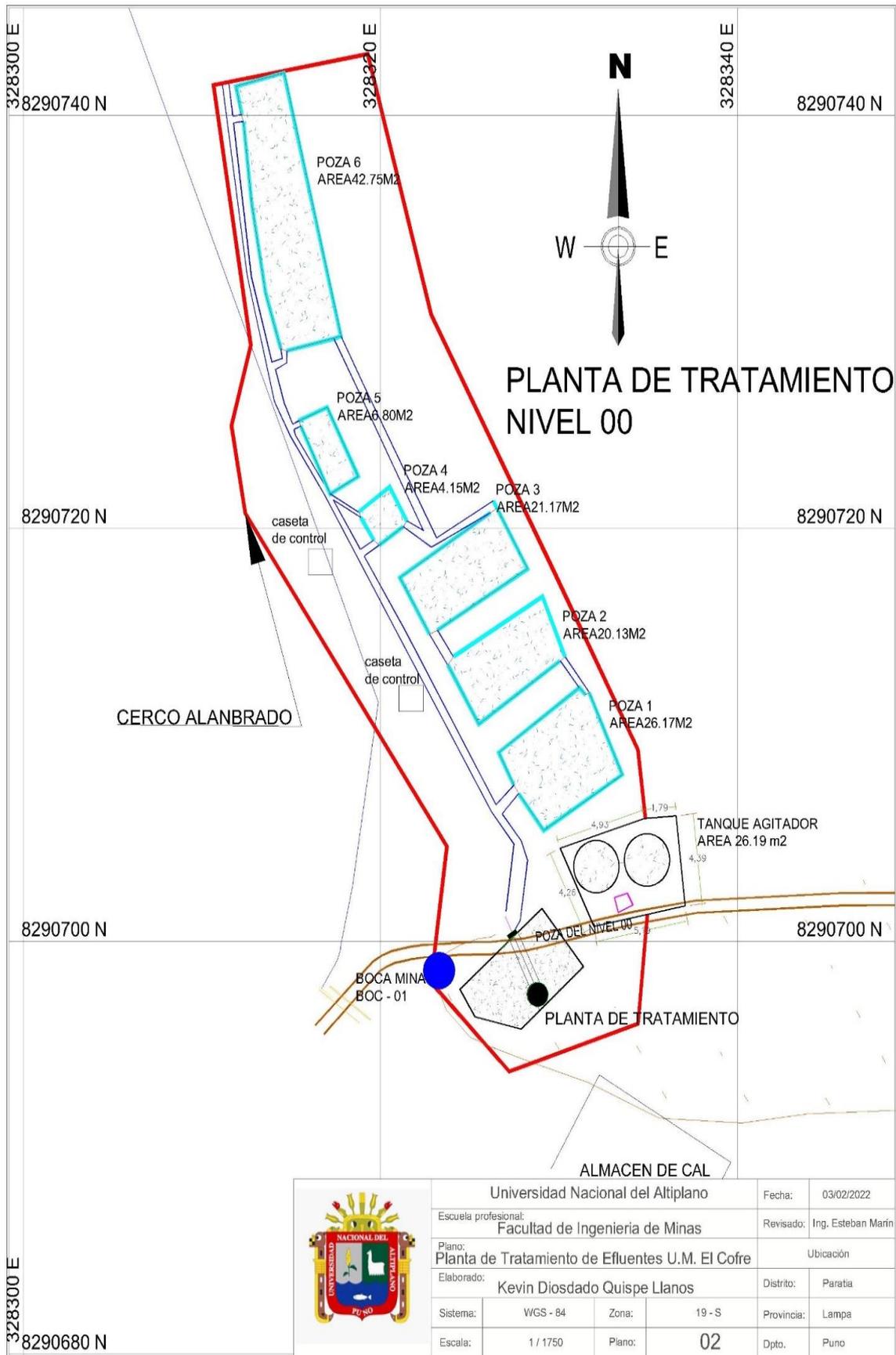
Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Anexo 3. Plano de punto de vertimiento y puntos de muestreo al río Paratia.

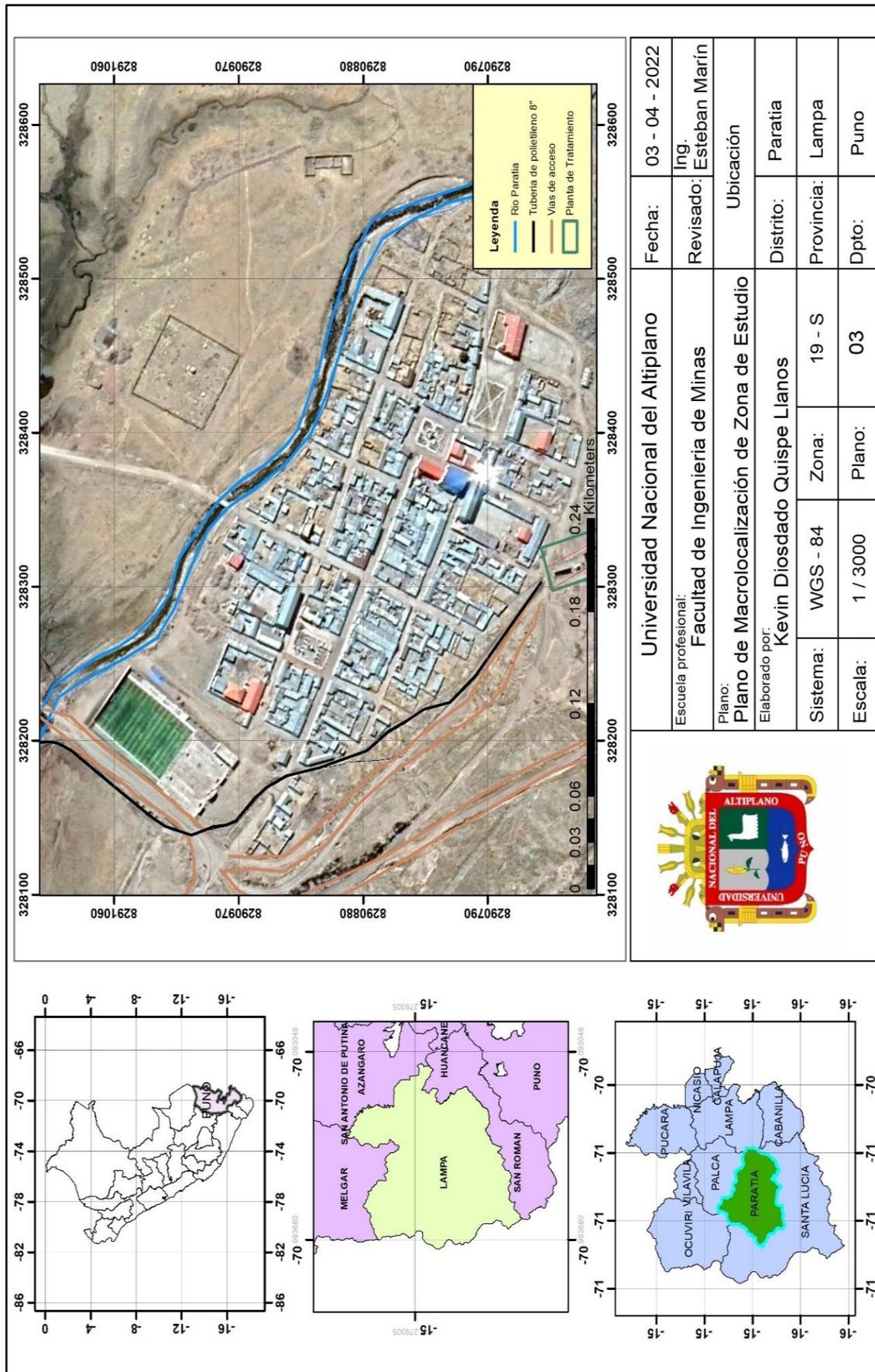




Anexo 4. Plano ubicación “Planta de tratamiento de los efluentes líquidos mineros – El Cofre”.



Anexo 5. Macro localización de la zona de estudio.



Anexo 7. Informe y reporte de resultados de XERTEK LIFE de aguas tratadas mediante el proceso de coagulación floculación.

Página 1 de 4

xertek life

ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151

INACAL
DA - Perú
Organismo de Inspección
Acreditado
Registro N° LE - 151

INFORME DE ENSAYO N° MA21070041 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : CONSORCIO DE INGENIEROS EJECUTORES MINEROS S.A.
Domicilio Legal : CAL. EL SAUCE NRO. 195 URB. EL SAUCE DE LA RINCONADA LIMA - LIMA - LA MOLINA
Solicitado Por : CONSORCIO DE INGENIEROS EJECUTORES MINEROS S.A.
Referencia : PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES NV. 00

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia :	U.M. EL COFRE	Fecha de Muestreo :	29/06/2021
Plan de Muestreo :	Realizado por el Cliente	Fecha de Recepción :	08/07/2021
Cantidad de Muestras :	3	Fecha Inicio Ensayo :	08/07/2021
Condición de la Muestra :	Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados		

MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Hierro Total	SM Part 3111 B, 23rd Ed. 2017.
Metales Totales (ICP-MS)	EPA 200.8, Rev 5.4, 1994

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

SIGLAS: "SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF, "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.

USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe solo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dimeritas serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3.- El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.

Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com



ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151



**INFORME DE ENSAYO N° MA21070041
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	ESPECIAL - 1	PM - 01	PM - 01 (ESP)
Cod. Lab.	MA21070041.0	MA21070041.0	MA21070041.03
Tipo de Producto	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial
Fecha de Muestreo	29/06/2021	29/06/2021	29/06/2021
Hora de Muestreo	15:30	12:58	12:06
Cadena de Custodia	2376	2376	2376

Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados		
Metales Totales (ICP-MS)					
Aluminio total	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Antimonio total	mg/L	0,00028	<0,00028	<0,00028	<0,00028
Arsénico total	mg/L	0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021
Bario total	mg/L	0,0003	0,0294	0,0327	0,0315
Berilio total	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Bismuto total (*)	mg/L	0,00019	<0,00019	<0,00019	<0,00019
Boro total (*)	mg/L	0,001	0,026	0,027	0,024
Cadmio total	mg/L	0,00024	<0,00024	0,01177	0,00629
Calcio total (*)	mg/L	0,022	275,1	374,2	350,7
Cerio total (*)	mg/L	0,00022	0,00195	<0,00022	<0,00022
Cesio total (*)	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Cobalto total	mg/L	0,00029	0,00161	<0,00029	<0,00029
Cobre total	mg/L	0,00037	<0,00037	0,00188	0,00249
Cromo total	mg/L	0,00023	0,00215	<0,00023	<0,00023
Estaño total (*)	mg/L	0,00022	<0,00022	0,02230	<0,00022
Estroncio total (*)	mg/L	0,00037	1,085	1,131	1,110
Fósforo total (*)	mg/L	0,005	<0,005	0,007	<0,005
Galio total (*)	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Germanio total (*)	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hafnio total (*)	mg/L	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Lantano total (*)	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Litio total (*)	mg/L	0,0003	0,0383	0,0488	0,0513
Lutecio total (*)	mg/L	0,00022	<0,00022	<0,00022	<0,00022
Magnesio total (*)	mg/L	0,003	4,546	0,621	0,376
Manganeso total	mg/L	0,00064	0,09762	0,73104	0,29541
Mercurio total	mg/L	0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Molibdeno total	mg/L	0,00018	0,00579	0,00283	<0,00018
Niobio total (*)	mg/L	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Níquel total	mg/L	0,00034	<0,00034	<0,00034	<0,00034
Plata total	mg/L	0,00021	0,00122	<0,00021	<0,00021
Plomo total	mg/L	0,00026	<0,00026	0,00319	<0,00026

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

USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dicientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3.- El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genevieve, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com



ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151



Registro N° LE - 151

**INFORME DE ENSAYO N° MA21070041
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	ESPECIAL - 1	PM - 01	PM - 01 (ESP)
Cod. Lab.	MA21070041.0	MA21070041.0	MA21070041.03
Tipo de Producto	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial
Fecha de Muestreo	29/06/2021	29/06/2021	29/06/2021
Hora de Muestreo	15:30	12:56	12:06
Cadena de Custodia	2376	2376	2376

Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados		
Metales Totales (ICP-MS)					
Potasio total (*)	mg/L	0,009	11,34	12,26	11,05
Rubidio total (*)	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Selenio total	mg/L	0,00033	<0,00033	<0,00033	<0,00033
Silicio total (*)	mg/L	0,013	0,501	0,490	0,451
Sodio total (*)	mg/L	0,009	15,10	15,06	14,96
Taio total	mg/L	0,00029	<0,00029	<0,00029	<0,00029
Tantalo total (*)	mg/L	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Teluro total (*)	mg/L	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Thorio total	mg/L	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Titanio total (*)	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Uranio total	mg/L	0,00016	<0,00016	<0,00016	<0,00016
Vanadio total	mg/L	0,00035	0,00171	<0,00035	<0,00035
Wolframio total (*)	mg/L	0,00277	<0,00277	<0,00277	<0,00277
Yterbio total (*)	mg/L	0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021
Zinc total	mg/L	0,0009	0,3990	1,057	1,056
Zirconio total (*)	mg/L	0,00035	<0,00035	<0,00035	<0,00035

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

USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dimeritas serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com



ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151



Registro N° LE - 151

**INFORME DE ENSAYO N° MA21070041
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	ESPECIAL - 1	PM - 01	PM - 01 (ESP)
Cod. Lab.	MA21070041.0	MA21070041.0	MA21070041.03
Tipo de Producto	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial
Fecha de Muestreo	29/06/2021	29/06/2021	29/06/2021
Hora de Muestreo	15:30	12:58	12:06
Cadena de Custodia	2376	2376	2376
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados
Hierro Total	mg/L	0.0096	<0.0096 0.0167 <0.0096

Leyenda: L.D = Límite de detección

Tiempo de Perecibilidad de Muestras
Minutos Totales : 250min

Lurin, 14 de Julio del 2021

Gloria Uturunco Mamani
Supervisor de Lab Químico

USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras similares serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com

Anexo 8. Hoja de seguridad del oxido de calcio

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN		Nº : SI-MSDS-33
	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO		Fecha: 13-10-2020
ÓXIDO CÁLCICO		Rev. : 06	
		Página: 1 de 5	
		Autor: E.Q.M.	

COPIA Nro.	
ASIGNADA A:	

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA	
Nombre del Producto	Óxido Cálcico
Nombre Comercial	Cal Viva (Óxido de calcio)
Marca	INTICAL
Uso de Producto	Insumo Químico
Fabricante	Cal & Cemento Sur S.A. Juliaca (051)-328544 – 328545. Arequipa (054)-225000 – 222525.

Rótulo NFPA

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE COMPONENTES		
Nombre Químico:	Número de CAS	Porcentaje
Dióxido de silicio (SiO ₂)	14808-60-7	1.0 - 10 %
Oxido cálcico (CaO)	1305-78-8	78 - 98 %

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	
Contacto con los Ojos	Corrosiva. Irritación severa dependiendo del contacto. Una sobreexposición puede producir dolor, coloración roja, ardor de la córnea y ulceración con posible daño permanente, quemaduras químicas.
Contacto con la Piel	Corrosiva. El contacto prolongado y repetido con el material en forma de polvo o húmedo puede producir erupción cutánea y dermatitis quemaduras químicas.
Inhalación	Corrosiva. La sobreexposición al polvo puede producir irritación severa de la membrana mucosa de la nariz, por exposición crónica puede causar lesión en el tabique nasal, garganta, tos y bronquitis genérica.
Ingestión	Puede causar quemaduras en la boca, garganta y el estómago. Corrosiva. La ingestión puede producir ulceración y ardor en la boca y garganta, náuseas, vómitos, dolor abdominal y diarrea.
Peligros especiales del Producto	Reacciona violentamente con agua con gran desprendimiento de calor, aumentando su volumen 2,5 veces. Este calor es suficiente para derretir el envase que lo contiene, puede prender materiales fácilmente inflamables. Puede emitir polvo muy fino, fácil de ser llevado por el viento

ELABORADO POR:	FECHA	REVISADO POR:	FECHA	APROBADO POR:	FECHA
E.Q.M.	10-10-20	Y.O.Q.	12-10-20	J.L.H.	13-10-20
FIRMA		FIRMA		FIRMA	

CONFIDENCIAL: No debe ser copiado sin permiso del SIG de CAL & CEMENTO SUR S.A.

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO	Nº SI-MSDS-33 Fecha: 13-10-2020 Rev. : 06 Página: 2 de 5 Autor: E.Q.M.
	ÓXIDO CÁLCICO	

SECCIÓN 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos	Lavar inmediatamente con abundante agua aproximadamente 10 a 15 min. De ser necesario levantar los párpados para su limpieza con agua y obtener ayuda médica de forma inmediata.
Contacto con la piel	En caso de contacto, eliminar el producto seco rápidamente y lavar con abundante agua y jabón. En caso de constatar quemadura llevar rápidamente a un centro médico. Sáquese inmediatamente toda la ropa contaminada, incluyendo los zapatos. Lave completamente las áreas afectadas con abundante jabón (pH neutro) y agua. Si persiste algún efecto, busque atención médica.
Inhalación	Traslade al afectado a un lugar ventilado, aplicar primeros auxilios a la víctima sino respira. Mantener signos vitales, trasladar a un centro de asistencia médica.
Ingestión	No inducir al vómito, no dar a beber líquidos. Si vomita espontáneamente colocar en posición de rescate.

SECCIÓN 5: MEDIDAS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

Agente de extinción	El producto no se inflama, use cualquier agente extintor (PQS), apropiado para el fuego circundante. La aplicación de agua puede producir una reacción exotérmica y liberar el calor suficiente para encender materiales combustibles que se encuentren alrededor.
Equipo de protección personal para el combate del fuego	Traje para alta temperatura y un equipo de aire autónomo de presión positiva (SCBA).

SECCIÓN 6: MEDIDAS DE LIBERACIÓN O DERRAME

Precauciones individuales	Mantenga alejado al personal no autorizado y sin los Equipo de protección personal adecuados. No toque el material derramado ni camine sobre él. No toque los recipientes dañados ni el material derramado si no está usando la vestimenta de protección adecuada.
Medidas de emergencia a tomar si hay derrame de material	Aislar, represar, cubrir y recuperar la mayor parte del producto derramado.
Equipo de protección personal para la emergencia	Contar con el equipo de protección personal necesario (ver sección 8)
Precauciones para la protección del medio ambiente	Evite la dispersión del material derramado, recoger en contenedores y cerrar para su disposición. No eliminar en lagos y arroyos, limpie el suelo de forma adecuada.
Métodos de limpieza	Recoger todo lo que quede y lo envasa en recipientes plásticos para su internamiento y luego su tratamiento.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Condiciones de Almacenamiento	Almacenar en lugar seco y protegido
Manipulación	Usar ropa de protección personal (ver sección 8)
Precauciones a tomar	Evitar contacto con la piel y ojos.

CONFIDENCIAL: No debe ser copiado sin permiso del SIG de CAL & CEMENTO SUR S.A.



	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO	N° SI-MSDS-33 Fecha: 13-10-2020 Rev. : 06 Página: 3 de 5 Autor: E.Q.M.
	ÓXIDO CÁLCICO	

SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL	
Medidas para reducir la posibilidad de exposición.	Trabajar en un lugar de ambiente seco. Evitar el contacto físico, utilizar los equipos de protección adecuados.
Ventilación	Local y general.
Protección Respiratoria	De acuerdo a la concentración del producto seleccionar la protección respiratoria, en emergencias y en operaciones no rutinarias usar filtros para material particulado de alta eficiencia, respirador full face.
Guantes de protección	Material a considerar Neopreno y/o nitrilo, PVC, caña larga, caña corta.
Ojos	Lentes de seguridad, respirador full face.
Piel	Calzado de seguridad, casco de seguridad, guantes, ropa de protección adecuada, overol descartable. Lávese completamente después del trabajo. Lave regularmente la ropa de trabajo.
Otros equipos de protección	Botas y overol adecuados a las operaciones de material igual o similar a los guantes.

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Estado físico	Sólido, polvo, gránulos.
Concentración	De 78 a 98 % de óxido cálcico
Color	Blanco gris.
Olor	Sin olor
Punto de fusión	2580 °C
Punto de ebullición	2850 °C
Densidad relativa	3.37 g/cm ³ a 20°C
Densidad aparente	800 – 1200 kg/m ³
Masa molar	56.07 g/mol
Solubilidad	1.65 g/L (20°C), reacciona con el agua para formar hidróxido de calcio, riesgo de reacción con liberación de calor.
Valor de pH	12.8 (H ₂ O, 20 °C) (solución saturada)

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Estabilidad y reactividad	Producto estable, excepto en presencia de agua produciendo una reacción exotérmica.
Incompatibilidad con diferentes sustancias	Agua, ácidos, inter halógenos, óxido de fósforo V.
Descomposición o sub productos peligrosos	Ninguna.
Producto peligroso de la combustión	No aplica.
Polimerización peligrosa	No se producirá.
Condiciones de reactividad	No disponible.

CONFIDENCIAL: No debe ser copiado sin permiso del SIG de CAL & CEMENTO SUR S.A.

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO	N° SI-MSDS-33 Fecha: 13-10-2020 Rev. : 06 Página: 4 de 5 Autor: E.Q.M.
	ÓXIDO CÁLCICO	

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA	
Efectos agudos	El contacto prolongado puede irritar o quemar la piel especialmente con la presencia de humedad. La inhalación del polvo puede causar irritación de las mucosas, membranas respiratorias. Contacto directo con los ojos puede causar daños permanentes.
Efectos crónicos	La exposición prolongada causa irritación, ulceración y perforación del tabique nasal.
Efectos locales	Irritación severa, quemaduras, bronquitis y neumonías. 10 a 20 mg/m ³ : Puede causar quemaduras en la nariz y garganta. 40 a 60 mg/m ³ : Puede ser fatal. Existen antecedentes de dermatitis con daño e incapacidad permanente.
Ruta de entrada	Inhalación, absorción a través de la piel, ingestión.
Órganos vitales	Los daños se causan a nivel del tracto respiratorio superior, piel, ojo (cristalino o córnea) y aparato digestivo.

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA	
Inestabilidad	Este producto es estable bajo condiciones normales.
Persistencia / Degradabilidad	En concentraciones menores la cal viva al hidratarse y absorber el anhídrido carbónico del ambiente, se transforma en un material que puede incorporarse al estrato del suelo, degradable hasta inerte.
Efectos sobre el ambiente	Nocivo para el medio ambiente en cantidades según nivel de riesgo, debido al incremento de temperatura y elevación del pH del agua y suelo, lo cual afectará a organismos vivos sensibles a estos cambios bruscos.

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES DE ELIMINACIÓN	
Tratamiento y/o eliminación del producto	Recoger el material residual, envasarlo y asegurarlos en recipientes plásticos etiquetados como corresponde.
Eliminación de envases y embalajes contaminados	Disponer los envases según política interna de la empresa reciclado, tratamiento y/o disposición final.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE	
Manejo	Para el transporte manejarlo en silos o sacos impermeables y envases plásticos.
Información reglamentaria	CLASE: 8 NUMERO NACIONES UNIDAS (UN): 1910 ETIQUETA: Sustancia Corrosiva GRUPO DE EMB/ENV ONU: III <div style="float: right; text-align: center;"> </div>

CONFIDENCIAL: No debe ser copiado sin permiso del SIG de CAL & CEMENTO SUR S.A.



	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO	Nº SI-MSDS-33 Fecha: 13-10-2020 Rev. : 06 Página: 5 de 5 Autor: E.Q.M.
	ÓXIDO CÁLCICO	

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGULADORA	
Norma Nacional aplicable	D.L. 1126 Que establece medidas de control en los insumos químicos y productos fiscalizados, maquinarias y equipos utilizados para la elaboración de drogas ilícitas. Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, aprobado por D.S. N° 021-2008-MTC Los requerimientos regulatorios están sujetos a cambios y podrían diferir de una localidad a otra. Modificatoria vigente de normativa relacionada al D.L. 1126 y otros
Normas internacionales aplicables	OSHA, ACGIH, NFPA, ASTM, NIOSH.

SECCION 16: OTRA INFORMACIÓN
- La información relacionada con este producto puede ser no válida si este es usado en combinación con otros materiales. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. Consultar la vigencia de la hoja de seguridad al área de Sistema Integrado de Gestión (SIG) de Cal & Cemento Sur S.A. (Telf. 328544, anexo 4630).

N° Revisión	Control de cambios del documento
06	El título se cambió "CAL VIVA" por "OXIDO CALCICO" Sección 1: se cambió "Oxido de Calcio" por "Oxido Calcico". Nombre comercial se agregó "Oxido de Calcio" Sección 2: se eliminó las filas "Oxido de aluminio, Oxido de magnesio, Oxido de Hierro". En la fila de Dioxido de Silicio, se cambio el Porcentaje "3.5-5.5%" por "1.0-10%". En la fila de Oxido de calcio se cambio por "Oxido Calcico", se cambió también el % de "80-87%" por "78-98%". Sección 9: se cambió la fila concentración de "80-87%" por "78-98%" se cambio CaO por Oxido calcico. En el valor de pH, se cambió "12.6" por "12.8".

CONFIDENCIAL: No debe ser copiado sin permiso del SIG de CAL & CEMENTO SUR S.A.

Anexo 9. Hoja de seguridad del polímero.

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

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

Información del Producto

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

Teléfono : 521-6672
Telefax : 521-4615

2. COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Caracterización química:

Descripción: : Copolímero de acrilamida.

3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

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

4. PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos : Lavar por al menos 10 minutos con abundante agua; si hay irritación buscar atención médica.

Contacto con la piel : Lavar con agua y jabon. Si desarrolla irritación solicitar atención médica.

Inhalación : Trasladar al aire libre. Buscar atención médica si es necesario.

Ingestión : Acudir al médico inmediatamente.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Peligros específicos para la lucha contra el fuego. : Evitar contacto con agua durante un incendio ya que el piso puede ponerse muy resbaladizo.
El polvo puede ser muy explosivo si se mezcla con aire.

Equipo de protección especial para los bomberos : Traje de protección química contra incendios y equipo de autocontenido.

Medios de extinción adecuados : Espuma, dióxido de carbono, agentes químicos secos.

6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales : Uso de equipos de protección personal, evite contacto con ojos, piel y vías respiratorias. Producto en contacto con agua o humedad gran peligro de resbalamiento.

Precauciones para la protección del medio ambiente : Tratar con arena antes de su eliminación. Lavar con mucha agua y desechar en un ambiente seco.



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

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

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

Almacenamiento

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

8. CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Componentes con valores límite a controlar en el lugar de trabajo

Observaciones: : No aplicable.

Protección personal

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

Protección de los ojos : Lentes de protección.

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

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Cuadro de presentación

Estado físico : Polvo granular.

Color : Blanco.

Olor : Olor débil.

Información adicional

Punto de ebullición : No aplicable.

Punto de inflamación : No disponible.

Temperatura de encendido automático : No disponible.

Presión de vapor : No aplicable.

Gravedad específica : 0,75 g/cm³

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

pH 0.5% solución : 6 - 8

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

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

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

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



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

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

12. INFORMACIONES ECOLOGICAS

Toxicidad : LC50 (pescado) > 1000 mg/l

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

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

14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

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

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

15. INFORMACION REGLAMENTARIA

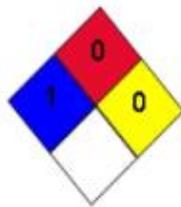
Símbolo de peligro : Ninguno.
Frases de riesgo y seguridad : Ninguno

ARENAS

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Código:	A-GC-FT-007
Versión:	01
Fecha:	11/02/2021
Página:	4/4

16. OTRAS INFORMACIONES



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

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

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



Figura 10. Planta de tratamiento de efluentes líquidos mineros.



Figura 11. Toma de muestras de agua del punto de monitoreo PM-0.



Figura 12. Obtención de muestras, metales totales, aceites, grasas y otros PM-01.



Figura 13. Lecturas de parámetros “*in situ*” según protocolo de monitoreo de agua.



Figura 14. Obtención de muestras del punto de vertimiento al río Paratia.



Figura 15. Medición de parámetros físicos en el punto de vertimiento al río Paratia.



Figura 16. Equipo de prueba de jarras en el laboratorio de químico.

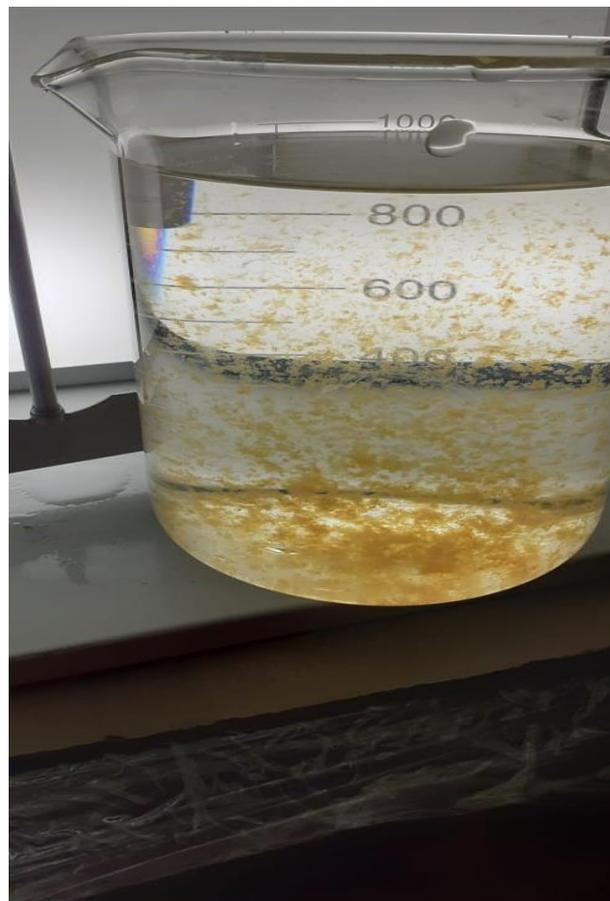


Figura 17. Proceso de sedimentación y tiempo de residencia.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Kevin Diosdado Quispe Llanos
, identificado con DNI 77150752 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería de Minas

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"Tratamiento de Efluentes Mineros mediante la Cal y Polímero para Reducción
de los Metales Pesados en la Unidad Minera "El COFRE"- Lampa

" Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 11 de mayo del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Kevin Diosdado Quispe Llanos
, identificado con DNI 77150752 en mi condición de egresado de:

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

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

Tratamiento de Efluentes Mineros Mediante la Cal y Polímero para Reducción de los Metales Pesados en la Unidad Minera "EL COFRE" - Jamp'a

" 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 11 de mayo del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella