



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**ESTUDIO COMPARATIVO DE TRATAMIENTO DE RELAVES
ENTRE LOS FLOCULANTES CHEMLOCK VERSUS AR-93900
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AGUA EN LA EMPRESA
MINERA SAN RAFAEL-MINSUR-PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDWIN KEVIN PARI CHAVEZ

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO-PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTUDIO COMPARATIVO DE TRATAMIE
NTO DE RELAVES ENTRE LOS FLOCULA
NTES CHEMLOCK VERSUS AR-93900 PA
RA ME**

AUTOR

EDWIN KEVIN PARI CHAVEZ

RECUENTO DE PALABRAS

12045 Words

RECUENTO DE CARACTERES

64742 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

99 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.4MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 6, 2023 7:19 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 6, 2023 7:20 PM GMT-5

● **1% de similitud general**

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

- 1% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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



DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada primeramente a mis padres; Edilberto Pari Mamani Y Sebastiana Chavez Cáceres, porque gracias a ellos pude concretar el presente trabajo. Agradezco sinceramente a ellos el apoyo que me dieron para terminar mis estudios en la Universidad Nacional del Altiplano Puno.



AGRADECIMIENTOS

- A mis padres por el apoyo desinteresado que me dieron durante estos 5 años de estudio.
- A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica, que con esfuerzo y paciencia nos brindan la formación en la universidad.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	16
1.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMA.....	16
1.2.1 Problema general.....	16
1.2.2 Problemas específicos	17
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.3.1 Hipótesis General	17
1.3.2 Hipótesis Específicas	17
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.5.1 Objetivo general	19
1.5.2 Objetivos específicos	19



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES	20
2.2	MARCO TEÓRICO	24
2.2.1	Tratamiento de relaves	24
2.2.1.1	Acerca de los relaves	24
2.2.1.2	Gestión de relaves.....	25
2.2.1.3	Tipos de depósitos de relaves	26
2.2.1.4	Aguas abajo	26
2.2.1.5	Aguas arriba.....	26
2.2.1.6	Eje central	27
2.2.2	Prevenir la contaminación y gestionar los vertidos y los residuos.....	28
2.2.2.1	La minería genera residuos que pueden tener efectos negativos.	28
2.2.3	Sedimentación	29
2.2.3.1	Conceptos Generales	29
2.2.3.2	Sedimentación Clásica.....	30
2.2.3.3	Velocidad de Sedimentación	30
2.2.3.4	Zonas de sedimentación.....	31
2.2.4	Floculación	32
2.2.5	Floculantes	32
2.2.5.1	Coagulante:	32
2.2.5.2	Floculante:	33
2.2.6	Los floculantes más empleados son los siguientes:	33
2.2.6.1	Agentes adsorbentes	33



2.2.6.2	Sílice activa.....	33
2.2.7	Influencia del potencial zeta en la sedimentación.....	34
2.2.7.1	Potencial Zeta	34
2.2.8	Absorción y neutralización de cargas	34
2.2.8.1	Etapas de proceso de coagulación y sedimentación.	34
2.2.9	Composición química de floculantes	35
2.2.9.1	Consumo de floculante	35
2.2.9.2	Influencia del pH en la sedimentación	36
2.2.9.3	Concepto de pH	36
2.2.9.4	Medida del pH	36
2.2.9.5	El pH metro	37
2.2.9.6	Reactivos de pH.....	37
2.2.9.7	Importancia de medir el pH.....	37

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	METODOLOGÍA	39
3.2	ZONA DE ESTUDIO.....	39
3.2.1	Ubicación	39
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN	40
3.3.1	Población.....	40
3.3.2	Muestra.....	40
3.3.2.1	Característica de muestra.....	41
3.4	MATERIAL Y EQUIPOS.....	42
3.4.1	Recursos necesarios	42
3.4.1.1	Infraestructura.....	42



3.4.1.2	Personal	42
3.4.1.3	Materiales:	43
3.4.1.4	Equipos:	44
3.4.1.5	Reactivos:	44
3.4.1.6	softwares:	45
3.4.1.7	Equipos de Protección Personal	45
3.5	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	45
3.5.1	Muestreo.....	45
3.5.2	Preparación de solución floculante	47
3.5.3	Preparación de muestras.....	47
3.5.4	Cálculo para obtención de datos	50
3.5.5	Realización de limpieza del área de trabajo	52
3.6	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	52
3.6.1	Selección de variables para la clarificación de agua.....	52
3.6.2	Análisis estadístico de pruebas de sedimentación.....	53
3.6.2.1	Diseño factorial.....	53
3.6.2.2	Evaluación de las pruebas.....	54
3.6.2.3	Evaluación y cálculo de los efectos de las variables experimentales para la sedimentación de relave.....	55
3.6.2.4	Análisis de Pareto para reactivo CHEMLOCK	58
3.6.2.5	Respuesta de Optimización CHEMLOCK	58
3.6.2.6	Análisis de Pareto para reactivo AR-93900	61
3.6.2.7	Respuesta de Optimización AR-93900.....	62



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	PRUEBAS DE SEDIMENTACIÓN.....	64
4.1.1	Prueba de sedimentación estándar	64
4.2	PH EN SEDIMENTACION:.....	65
4.3	CONSUMO DE FLOCULANTE:	65
4.3.1	Pruebas de sedimentación con floculante CHEMLOCK y AR-93900 para diseño factorial	68
4.4	PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN CON RESPUESTA DEL DISEÑO FACTORIAL.....	72
V.	CONCLUSIONES	75
VI.	RECOMENDACIONES	76
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS.....		80

AREA: Planta

TEMA: Tratamiento de Relaves

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 07 de Noviembre 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zona de Sedimentación	31
Figura 2. Ubicación de la mina San Rafael.....	40
Figura 3. Punto de muestreo relave scavenger.....	46
Figura 4. Punto de muestreo relave gravimetría.	46
Figura 5. Acondicionando pH.....	49
Figura 6. Adición de floculante a probeta.....	49
Figura 7. Agitación de pulpa para cinética de sedimentación.....	50
Figura 8. Diagrama de Pareto del reactivo CHEMLOCK.	58
Figura 9. Optimización para reactivo CHEMLOCK.	60
Figura 10. Diagrama de Pareto para reactivo AR-93900.....	62
Figura 11. Optimización para reactivo AR-93900.....	63
Figura 12. Grafica de prueba de sedimentación.....	64
Figura 13. Resultados de cinética sedimentación estándar	66
Figura 14. Floculante CHEMLOCK.....	68
Figura 15. Floculante AR-93900.	69
Figura 16. Hidróxido de calcio.	69
Figura 17. Curva de cinética de sedimentación de resultados óptimos.	73
Figura 18. Comparativa de resultados óptimos entre CHEMLOCK y AR-93900.. ...	74



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis granulométrico de relave B2	41
Tabla 2. Gravedad específica de relave B2	42
Tabla 3. Fracciones de flujos de relaves B2	48
Tabla 4. Variables de diseño.....	53
Tabla 5. Variables de diseño factorial CHEMLOCK.....	54
Tabla 6. Variables de diseño factorial AR-93900.	55
Tabla 7. Análisis de varianza con reactivo CHEMLOCK.....	56
Tabla 8. Coeficientes codificados con reactivo CHEMLOCK.....	57
Tabla 9. Resumen del modelo para reactivo CHEMLOCK.	57
Tabla 10. Ecuación de regresión en unidades no codificadas para reactivo CHEMLOCK.....	57
Tabla 11. Parámetros de prueba con floculante CHEMLOCK.	58
Tabla 12. Predicción de respuesta múltiple para reactivo CHEMLOCK.....	59
Tabla 13. Análisis de Varianza con reactivo AR-93900.	60
Tabla 14. Coeficientes codificados con reactivo AR-93900.	61
Tabla 15. Resumen del modelo para reactivo AR-93900.....	61
Tabla 16. Ecuación de regresión en unidades no codificadas para reactivo AR-93900.	61
Tabla 17. Parámetros de prueba con floculante AR-93900.....	62
Tabla 18. Parámetros Predicción de respuesta múltiple para reactivo AR-93900. ...	62
Tabla 19. Parámetros estándar de pruebas de sedimentación.....	66
Tabla 20. Promedio de resultados de la prueba estándar.....	67
Tabla 21. Concentración de floculantes.....	68



Tabla 22.	Distribución de pruebas de flotación.....	70
Tabla 23.	Tiempos de cinética de sedimentación.....	71
Tabla 24.	Resultados de prueba de sedimentación.....	72
Tabla 25.	Resultados de pruebas de sedimentación optima.....	73



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Tss	: Sólidos totales en suspensión
g/TMS	: Gramos por tonelada métrica seca
pH	: Potencial de hidrogeniones
AR	: Arenas
B2	: Bofedal 2
ICMM	: International Institute for Environment and Development
Log	: Logaritmo
%	: Porcentaje
O/F	: Overflow
PS	: Prueba de sedimentación
ml	: Mililitros
Sn	: Estaño
-	: Mínimo
+	: Máximo



RESUMEN

El estudio comparativo de tratamiento de relaves entre los floculantes CHEMLOCK versus AR-93900 para mejorar la calidad de agua en la unidad minera San Rafael-MINSUR-Puno, se hizo con el fin de encontrar un floculante alternativo AR-93900 que obtenga mejores resultados en la calidad de agua que el estándar CHEMLOCK mediante las pruebas de sedimentación en el laboratorio metalúrgico, actualmente el relave de la planta de beneficio B2 tiene un D80 de 31.15 micras, una gravedad específica de 2.77, también 10.15 % de sólidos y la prueba de sedimentación estándar de laboratorio metalúrgico tiene en el agua clarificada 27.5 de sólidos totales en suspensión (Tss) lo que demuestra que existen partículas ultrafinas suspendidas que contaminan el agua, para realizar las pruebas con los componentes correspondientes se usó el diseño factorial 2k porque es el que más se adapta al presente trabajo, considerando las variables más importantes como es el caso del pH que se trabajó en un rango de 10 a 11 y la variable de consumo de floculante que se usó en un rango de 19.76 g/TMS a 29.64 g/TMS, los resultados de la prueba de sedimentación evidenciaron que a un pH de 11 y un consumo de 24.9148 g/TMS los sólidos totales en suspensión (Tss) son 22.5 para CHEMLOCK y 17.5 para AR-93900, donde se llegó a la conclusión de que al optimizar las variables de pH, consumo de floculante se mejoró la sedimentación y también se logró observar que el floculante alternativo AR-93900 obtuvo mejores resultados en la clarificación de agua a comparación del floculante CHEMLOCK el cual se optimizó.

Palabras clave: Calidad de agua, Optimización, Sedimentación, Tratamiento de relaves.



ABSTRACT

. The comparative study of tailings treatment between CHEMLOCK versus AR-93900 flocculants to improve water quality in the San Rafael-MINSUR-Puno mining company was done in order to find an alternative flocculant AR-93900 that obtains better results in water quality than the CHEMLOCK standard through sedimentation tests in the metallurgical laboratory, currently the tailings of the B2 beneficiation plant has a D80 of 31.15 microns, a specific gravity of 2.77, also 10.15% solids and the standard metallurgical laboratory sedimentation test has in the clarified water 27.5 of total suspended solids (Tss) which shows that there are ultrafine suspended particles that contaminate the water, to perform the tests with the corresponding components, the 2k factorial design was used because it is the one that best suits the present work, considering the most important variables such as the pH that was worked in a range of 10 to 11 and the flocculant consumption variable that was used in a range of 19.76 g / TMS to 29.64 g / TMS, the results of the sedimentation test show that at a pH of 11 and a consumption of 24.9148 g / TMS the total suspended solids (Tss) are 22.5 for CHEMLOCK and 17.5 for AR-93900, where it was concluded that by optimizing the pH variables, flocculant consumption sedimentation was improved and it was also observed that the alternative flocculant AR-93900 obtained better results in the clarification of water to comparison of CHEMLOCK flocculant which was optimized.

Keywords: Water quality, Optimization, Sedimentation, Tailings treatment.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La minería tiene un alto nivel económico en el Perú y en los últimos años cuenta con potencialidades importantes para contribuir con el desarrollo de nuestra región Puno.

Hay un gran crecimiento de conciencia de protección ambiental en estos últimos tiempos, referidos a los problemas que causa la contaminación de aguas, producto de aplicación de procesos metalúrgicos para la extracción de minerales de casiterita, pero debido a la economía que tiene la producción de este mineral y su importancia, se llega a saber que el problema siempre estará latente.

Con la utilización de nuevas alternativas para el tratamiento de relaves se reducirá la contaminación del agua de gran manera.

En la actualidad la constante búsqueda de mejoramiento en el tratamiento de relaves de la planta B2 Empresa Minera San Rafael nos llevó a realizar pruebas experimentales en el laboratorio MINLAB S.R.L. en busca de parámetros y nuevas alternativas de floculantes que permitan obtener mejor calidad del agua producto del tratamiento de relave proveniente de la planta B2.

Al mejorar la sedimentación se llega a tener una mejor calidad de agua utilizando diseños experimentales y logrando escenarios óptimos de sedimentación y así mejorar la calidad de agua.

Este trabajo de investigación pretende aprovechar la disponibilidad del equipo del laboratorio para obtener datos de optimización que ayudo a obtener conocimiento en



como variar el pH de manera adecuada, también el consumo de floculante y así dar solución al problema de la calidad de agua y tiempo de vida útil de la Relavera.

Por otro lado, el presente trabajo, mostrará datos de las pruebas de sedimentación realizadas en laboratorio para uso general como antecedentes.

1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La empresa minera San Rafael-MINSUR-Puno tiene dos plantas de beneficio una de ellas es la planta Camilo Zeballos y la otra B2, las cuales producen relaves de diferentes características, la primera planta trata mineral directamente de mina en cual al realizarse pruebas de sedimentación se obtuvo un Tss de 18, La planta de concentración B2 que viene trabajando ya 5 años y trata relaves antiguos en el cual al realizar pruebas de sedimentación se obtuvo un Tss de 27.5 donde se observa la planta B2 tiene mayor Tss lo que provoca que la turbidez del agua se incremente es por esta problemática que se realizó la investigación con el objetivo de reducir los Tss del agua clarificada del tratamiento de relave de la planta B2. para esto se realizó varias pruebas de sedimentación a nivel laboratorio donde se evaluó la influencia del pH y el consumo de floculante que en este caso son CHEMLOCK y AR-93900 con lo cual se podrá saber que floculante es mejor con parámetros óptimos para así mejorar la calidad de agua de la empresa minera San Rafael-MINSUR-Puno.

1.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Será posible hacer el estudio comparativo del tratamiento de relaves entre los floculantes CHEMLOCK versus AR-93900 para mejorar la calidad de agua de la empresa minera San Rafael-MINSUR-Puno?



1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será el pH óptimo para mejorar la calidad de agua en tratamiento de relaves en la empresa minera San Rafael – Minsur - Puno?
- ¿Cuál será el consumo adecuado para mejorar la calidad de agua en tratamiento de relaves en la empresa minera San Rafael – Minsur - Puno?
- ¿Cuál será el floculante adecuado entre CHEMLOCK y AR-93900 para mejorar la calidad de agua en el tratamiento de relaves en la empresa minera San Rafael – Minsur - Puno?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis General

Al realizar el estudio comparativo de tratamiento de relaves entre los floculantes CHEMLOCK versus AR-93900 se mejorará la calidad de agua en la empresa minera san Rafael-MINSUR-PUNO

1.3.2 Hipótesis Específicas

- El pH influye directamente con la calidad de agua en el tratamiento de relaves por lo que será de vital importancia controlar ese parámetro para la empresa.
- El consumo de floculante tiene un gran impacto en mejorar la calidad de agua, considerándose uno de los parámetros más importantes.
- Usar el floculante adecuado entre CHEMLOCK y AR-93900 ayudará de gran manera a mejorar la calidad de agua.



1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación ayudara al tratamiento de relaves en el Perú, debido a que el agua clarificada producto de la sedimentación tiene dos funciones: la primera es que se reincorpora al rio y la segunda es que recircula a la planta de beneficio lo cual al estar el agua con una calidad mejor los procesos de flotación como de molienda se beneficiaran enormemente lo cual dará resultados económicos positivos a la empresa minera San Rafael.

Esta permitirá mejorar el tratamiento de relaves al trabajar con variables como es el caso del pH donde se observa la influencia de este y su importancia en la sedimentación al incrementar el pH mejora de manera significativas.

También el consumo de floculante que al ser mínimo o máximo en ambos casos reduce su eficiencia lo cual nos lleva a obtener un dato óptimo para así mejorar la sedimentación.

Al realizar la comparación de resultados óptimos entre floculantes “CHEMLOCK” y “AR-93900” mediante pruebas de sedimentación a nivel laboratorio nos permite saber que floculante es el adecuado para el tratamiento de relaves y así tener una mejor sedimentación.

Al optimizar el tratamiento de relaves la población se verá beneficiada debido a que la contaminación al rio reducirá en gran manera y así dará un mejor desarrollo sostenible.

Los datos obtenidos en la presente investigación servirán para nutrir los conocimientos de los estudiantes y afines de la carrera de ingeniería metalúrgica y así se



podrá contribuir con el conocimiento en el tratamiento de relaves del cual no hay mucha información disponible a nivel regional.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Realizar el estudio comparativo de tratamiento de relaves entre los floculantes CHEMLOCK versus AR-93900 para mejorar la calidad del agua de la empresa minera SAN RAFAEL-MINSUR-PUNO.

1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar el pH adecuado para mejorar la calidad de agua en la empresa minera San Rafael – Minsur - Puno
- Determinar el consumo óptimo de floculante para mejorar la calidad de agua en la empresa minera San Rafael – Minsur – Puno
- Determinar el floculante ideal entre CHEMLOCK y AR-93900 para mejorar la calidad de agua de la empresa minera San Rafael – Minsur – Puno.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

En años anteriores autores como Cardozo concluyeron que el estaño es esencial para la fabricación de computadoras y artefactos electrónicos también para tuberías y automóviles se encuentra en cantidades mínimas en la corteza terrestre y no se encuentra en estado nativo como el oro y cobre si no que en mayor proporción se encuentra en mineral de casiterita (SnO_2) y las principales industrias se encuentran en China que extrae estaño., Malasia, Perú, Indonesia, Bolivia y Brasil si en la cual en Perú MINSUR es el único que produce casiterita (Cardozo, 2019).

En su investigación Saldaña y Tongombol mencionan que la minería es una de las fuentes de ingreso económico más resaltante por la creación nuevos empleos, el aporte en el incremento de la economía nacional; sin embargo, generan impactos negativos al medio ambiente y a la sociedad. Por ello, surgió un interés de estudiar y difundir información acerca de este problema. Los relaves que produce la minería son peligrosos y capaces de romper los equilibrios de los ecosistemas, alterar de manera negativa la salud del pueblo, contaminar cuerpos de agua y cambiar paisajes naturales (García Saldaña & Tongombol Chuquiango, 2018).

Por otro lado Salcedo observó que en MINSUR San Rafael en la actualidad viene trabajando concentrados de casiterita, el mineral que ingresa a la planta de beneficio ha disminuido significativamente, esto ocasiona que los líderes estén presionados en buscar nuevas fuentes, luego de varias observaciones de vieron con la necesidad de recuperar



casiterita de la ganga que se acumulaba por muchas décadas en la relavera Bofedal 2, los cuales tienen una ley de cabeza aceptable para su recuperación (Salcedo Delgado, 2015).

También Autores como Mazar y Falcon indican que la sedimentación se comporta según su granulometría, Esto se refiere a que al tener más material grueso se reduce la zona de caída libre lo que mejora la sedimentación, pero, al aumentar material fino sucede lo contrario, se dificulta la sedimentación (Mazar & Falcón Hernández, 2007).

Gustafsson, Nordenswan y Rosenhom señalan que en el tamaño intermedio de las partículas. Muestra que en reducidas concentraciones de sólidos o bajo porcentaje de solido partículas individuales o pequeñas los flóculos se ponen en el sobrenadante, ya que la distancia a las partículas vecinas es demasiado grande hacer contacto, lo que dificultó que estas partículas se junten con otras de la construcción de flóculos (Gustafsson, Nordenswan, & Rosenholm, 2003).

Se conoce como proceso de sedimentación al fenómeno natural en donde las partículas ultrafinas más grades en el agua, que se encuentran flotando, son divididas por la ley de la fuerza de gravedad por esto mismo la sedimentación es acelerada con floculantes (Pérez Farrás, 2005).

Autores como Orozco determinó que el pH es una variable muy resaltante en la prueba de sedimentación y también en la compactación, alterando totalmente la propiedad de separación de sólido líquido esto usándose dos muestras igual, pero con diferente pH, es por eso que concluye que el potencial de iones hidrógeno es determinante para una prueba de sedimentación (Orozco Rios, 2009).

Los elementos más importantes y con el que hay que tener más cuidado es el agua. El ser humano usa el agua en diversas actividades productivas es así como la recuperación, neutralización y limpieza, del agua ya utilizada ha Sido esencial,



disminuyendo la contaminación a nivel mundial, el uso de la cal es una alternativa confiable y segura para la limpieza del agua (Uso de la cal en tratamientos de aguas, 2002).

En los primeros antecedentes se encuentran trabajos realizados hace dos décadas atrás por Amaya, Cañón y Aviés que llegaron a la conclusión que al utilizar un diseño experimental en un programa para controlar el pH debido a que este tiene condiciones logarítmicas, sirvió de mucha ayuda porque le ahorró tiempo al predecir comportamientos de la planta y como las variables modifican los resultados y pueden dañar la floculación y por ende la sedimentación (Amaya , Cañón, & Aviés, 2004).

Con respecto al consumo de floculante autores como Barajas y León mencionan que la influencia de la dosificación de coagulante y floculante es muy importante también, no dicen que es importante usar modelos matemáticos que nos ayuden a determinar de manera fácil las condiciones óptimas sin tener que recurrir a las pruebas en laboratorio los cuales toman tiempo realizarlas y al utilizar modelos tenemos beneficios económicos positivos (Barajas Garzón & León Luque, 2015).

En su trabajo de investigación Tejada dedujo que en el tratamiento de turbidez en el agua utilizando cal se realizaron pruebas en jarras y en probetas de 100 ml y se logró encontrar la dosificación de cal y floculante realizando pruebas en laboratorio con lo cual mejoró la calidad el agua en un 50.25 % y esto ayudo mucho económicamente a la empresa (Tejada Mayta, 2017).

Pérez y Urrea nos dicen que la floculación tiene como concepto la unión de partículas pequeñas separadas que por el uso de floculantes logran juntarse y formar flóculos de mayor tamaño y tienen la tendencia de caer a la base de las probetas en las que se realizaron las pruebas sin embargo antes que la floculación esta la coagulación que



es la neutralización de cargas electrostáticas que tienen las pequeñas partículas y esto ocasiona que las pequeñas partículas que están separadas lleguen a juntarse entre sí (Pérez de la Cruz & Urrea Mallebrera, 2013).

Carrera e Infante argumentan que a el pH y la concentración de floculante influyen de gran manera a la sedimentación de partículas en suspensión en los cuales obtuvieron estos resultados usando el método de jarras el cual permite también obtener dosis adecuadas para las pruebas así así mejorar la calidad de agua en el tratamiento de pulpas de una planta papelería (Carrera García & Infante Torres, 2015).

Yacoub plantea que en la región de Cajamarca existen varias empresas que generan contaminación y a través de sedimentos de la cuenca se llegó a analizar la presencia de metaes pesados en esta y gracias a este estudio se concluyó que existe un riesgo latente en esta cuenca debido a la presencia de metales pesados y la influencia negativa de estos en el ecosistema (Yacoub López , 2010)

Autores como Sandoval, Montellano, Piña y Sánchez Dedujeron que el potencial zeta tiene una relación directa con el tratamiento de aguas y con impurezas coloidales ya que con la adición de coagulantes y floculantes se forman sedimentos de estas partículas en suspensión en aguas, ya que el potencial zeta se encarga de determinar la carga de estas partículas para considerarlas como parámetros y así tener una dosificación optima de reactivo a emplear, también realizaron pruebas con tipos de polímero que son catiónicos, aniónicos y no iónicos para saber cómo desestabilizaron la carga de los sólidos en suspensión cada uno de los polímeros mencionados antes (Sandoval Yoal, Montellano Palacios, Piña Soberanis, & Sánchez Guzmán, 2013).



2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Tratamiento de relaves

2.2.1.1 Acerca de los relaves

Los relaves son parte habitual de productos de plantas de beneficio, consiste en una pulpa de agua y pequeñas partículas de minerales y metales. Que es generado por las fases de conminación y molienda de una planta concentradora.

Desde la etapa cuando se usan molinos, los relaves se dirigen a lugares donde se almacenan que usualmente se forman a partir de presas donde se usan material top soil. En el tiempo en que los lodos de relaves van perdiendo agua, se compacta para luego secarse, para la posterior remediación se puede sembrar vegetales nativos de la zona.

Antes de enviar el agua de los relaves al río o recircularlo al proceso de la planta de beneficio, se le debe hacer un tratamiento para sacar los químicos y metales pesados que son capaces de dañar el ambiente a y a los pobladores de la zona.

Sin las medidas de prevención óptimas, los relaves son capaces de ocasionar impactos que afectarían a pobladores de la zona y el medio ambiente que rodea a la empresa, debido a que la contaminación ocasionada sobre las aguas desechadas y la polución de partículas finas que pueden ser tóxica la flora, fauna y las personas. Si en un lugar donde se almacenan relaves existen fallas en la estructura, puede ocasionar consecuencias negativas y fatales que posiblemente hagan mucho daño. Si



sucede, el agua clarificada del tratamiento de relaves sería capaz de ocasionar una inundación y afectar de gran manera el ambiente el ambiente perimétrico del depósito, y podrían causar la pérdida de vidas humanas (ICMM, 2023).

2.2.1.2 Gestión de relaves

La diligencia de desechos mineros, antes, durante y después del proyecto minero, es una responsabilidad obligación que poseen las unidades mineras durante y después de su proceso y se encuentra adherida a muchos regímenes que regulan la gestión de los desechos mineros y debe ser optima durante todo el proceso de beneficio, antes durante y después del estudio de factibilidad.

Las prevenciones que se consideran cuando termina un proceso es capaz cambiar de manera concreta según modelo de relaves. Cuando lo relaves no contienen soluciones que causen daño al medio ambiente y a las personas, se extrae agua drenando para volver confiable la estabilidad física, y encima se pone una capa de tierra y vegetación que remedia naturalmente el área. En otro escenario, se tomará medidas en un plazo amplio para consolidar de una forma estable la integridad física y química, así como dar una manera segura de dejar los relaves.

Los desastres que ocasionaron los errores de las represas ubicadas en Mount Polley (Canadá), las de Samarco (Brasil) en 2015 y (Brasil) eran lo que necesitábamos para aprender que errores no se debería cometer al tratarse de prevenir daños negativos (ICMM, 2023).



2.2.1.3 Tipos de depósitos de relaves

Los depósitos son capaces de realizarse de diferentes maneras a razón de muchas variables como, por ejemplo, la topografía del lugar en el que se trabajará, la climatología de la zona, la probabilidad de sismos, la clase de mineral que se extraerá y la distancia que existe entre la mina y el pueblo. Y esto nos lleva concluir que los depósitos de relaves son diferentes en cada zona en la que se trabaja.

Es esencial descubrir la metodología más adecuada para armar los lugares donde se depositarán los relaves y así asegurar el desarrollo sostenible de la instalación. Los depósitos de relaves podrían llegar a tener estos tipos de relaves los cuales son aguas abajo, aguas arriba y central (ICMM, 2023).

2.2.1.4 Aguas abajo

La forma aguas abajo empieza impermeabilizando al inicio una presa. el relave descarga en esta, con el paso del tiempo el nivel sube, llega a formarse un nuevo muro y se genera una nueva base en la pendiente aguas abajo de la anterior sección, de forma que la presa se mueva aguas abajo por la máxima altura de la presa cada vez que crece. El modelo aguas abajo se formó para lugares donde están propensos a actividad sísmica y o con mucha captación de agua (ICMM, 2023).

2.2.1.5 Aguas arriba

Las edificaciones aguas arriba empieza realizando una presa. El relave descarga en la presa y forman una especie de playa compuesta por

relave. Y estos ya compactados y sedimentados pueden reutilizarse para elevar la presa. De esta forma, la cúspide de la presa con cada elevación se mueve aguas arriba.

Las presas aguas arriba deben levantarse de manera lenta para que así los relaves en estado sólidos lleguen a tener tiempo para compactarse y secarse lo máximo posible para que sea capaz de soportar el nivel de la nueva presa. Este tipo de diseño se ejecuta de mejor manera para instalaciones en áreas donde la probabilidad de sismo son muy pocas y no llueve mucho (ICMM, 2023).

2.2.1.6 Eje central

La manera del diseño de un eje central es el intermedio entre los diseños aguas arriba como el de aguas abajo. En las instalaciones del diseño eje central, la presa se edifica de forma vertical por encima de la presa inicial. Por lo cual, la cúspide de la represa se mantiene fija, mientras la represa se eleva de manera simultánea. Lo lograría añadir un drenaje de la parte interna para tener más estabilidad en la represa.

Lo lugares donde se almacenan relaves se han trabajado muy bien en la historia y tuvo pocos errores que ocasionaron incidentes. Más, cuando hay errores, son capaces de ocasionar un accidente en las comunidades aledañas, y el ambiente. La gestión de los relaves está a cargo de las empresas antes durante y después.

También la gestión de tiene un Estándar Global de Relaves brinda un marco para tramitar de una manera en que se pueda prevenir los errores



en los relaves, al mismo tiempo en el mismo momento en que proporciona más comprensión a los trabajadores (ICMM, 2023).

2.2.2 Prevenir la contaminación y gestionar los vertidos y los residuos

2.2.2.1 La minería genera residuos que pueden tener efectos negativos.

Los riesgos que corresponde residuos ocasionados son, como otras, el drenaje de agua ácido producidas por la explotación minera, los productos de la planta de lixiviación como son los metales pesados y relaves, las emisiones de mercurio, la contaminación por las micropartículas en suspensión que crean las actividades de explotación, como son, la voladura, perforación o polución de la cancha desechos de mina.

La empresa de las minas debe de hallar, controlar y evaluar las causas de contaminación que pueden surgir en el ambiente que rodea a la empresa y en la salud de los pobladores. También deben aplicar la jerarquía de mitigación tener control los posibles elementos contaminantes.

La jerarquía de mitigación es un método usado por las áreas industriales para dirigir sus actividades en la gestión tienen efectos negativos y riegos.

Ejercer la jerarquía de mitigación para prevenir y minimizar los impactos residuales y compensar los impactos en ellos trabajadores y la comunidad afectada.



En este contexto, la jerarquía de mitigación tiene cinco etapas pensadas para ser insertadas consecutivamente (ICMM, 2023).

- Es prioritario reducir la generación de residuos. Se debe tomar importancia a este método.
- Prevenir la generación de residuos o contaminantes.
- Reutilizar los residuos.
- Reciclar los residuos.
- Una vez aplicado las alternativas anteriores y sin obtener resultados desechar.

2.2.3 Sedimentación

2.2.3.1 Conceptos Generales

La sedimentación es un fenómeno que se forma porque las partículas de mayores dimensiones y con mayor peso específico que el agua se halla suspendidas caen por el fenómeno de la gravedad y densidad.

Los materiales que se pueden encontrar como contaminantes naturales pueden hallarse en tres estados de suspensión en base a su diámetro (Pérez Farrás, 2005).

- Suspensiones entre los rangos de 10^{-4} cm.
- Los Coloides se encuentran entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- Proporcionar soluciones materiales finas con diámetros que son menores a 10^{-6} cm.



2.2.3.2 Sedimentación Clásica

A nivel práctico el proceso de sedimentación se hace en equipos como tanques en los cuales siempre se traslada el caudal de la planta de beneficio distanciándolo del líquido que se encuentra en reposo.

Con el propósito de reducir el error, se proyectan los datos de las unidades con velocidad de pasaje muy reducidas.

Si se tiene en cuenta que las partículas suspendidas son llevadas en forma horizontal con similar velocidad de pasaje del material de agua por el equipo del tanque, lo que quiere decir que no se genera fricción horizontalmente, esto permite generar un esquema de cálculo un tanto simple donde se podrá observar un pequeño sobredimensionamiento donde la sedimentación será el resultado imperceptible y más larga que la teórica.

El estudio de diseños estructurales tiene en cuenta factores distorsionados de modelo planteado, como son la velocidad de arrastre, variación de densidad del floculante y otros (Pérez Farrás, 2005).

2.2.3.3 Velocidad de Sedimentación

Se considera a todas las partículas en forma esférica, discreta y sometido lo que será atraída a la base y a fuerza se llama "activa" (Pérez Farrás, 2005).

$$Fa = \bar{G} - \bar{E}$$

- G = Peso de partícula.

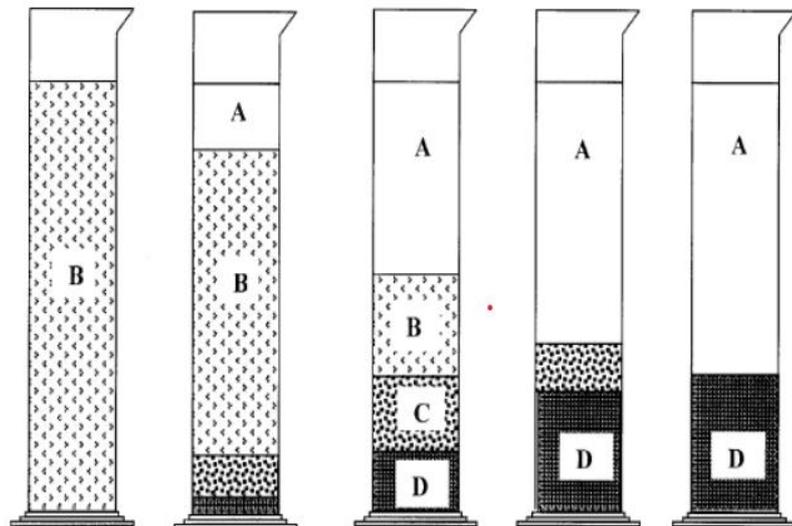
- E = Empuje.

2.2.3.4 Zonas de sedimentación

La sedimentación de materiales suspendidos homogéneos forma cuatro áreas en la columna de sedimentación que desde la parte inferior hasta la zona superior de la columna de cinética de sedimentación y fueron denominadas como (Orozco Rios, 2009).

- A: Área de agua clara
- B: Área de concentración inicial constante.
- C: Área de concentración variable.
- D: Área de compresión

Figura 1.
Zona de Sedimentación



Fuente: CÁRDENAS, Yolanda. *Tratamiento de agua Coagulación y Floculación*. SEDAPAL. Lima.



2.2.4 Floculación

Para la sedimentación y floculación es de mucho interés encontrar la creación de flóculos de mayor peso y cohesión que se pueda tener, ya que estos parámetros hacen más fácil su sedimentación. Por lo general, estos medios o algunos favorecen el crecimiento y, consecuentemente, la manera de sedimentación del flóculo:

- Realizar de la manera más correcta posible la coagulación.
- Tener un porcentaje de sólidos controlado permite conseguir mayor concentración.
- Agitar de manera lenta para no destruir los flóculos que se forman al inicio de la agitación contribuye en la formación adecuada de estos mismos.
- El uso de reactivos como el floculante (Pérez de la Cruz & Urrea Mallebrera, 2013).

2.2.5 Floculantes

Los floculantes son reactivos que ayudan mucho a la formación de flóculos juntando partículas pequeñas entre sí. La diferencia entre el coagulante y floculante es:

2.2.5.1 Coagulante:

Anula la fuerza de repulsión entre partículas lo que ocasiona que estas formen pequeños flóculos (Pérez de la Cruz & Urrea Mallebrera, 2013).



2.2.5.2 Floculante:

Unen los pequeños flóculos que se formaron en la etapa de coagulación formando así flóculos de mayor tamaño y produciéndose una buena sedimentación (Pérez de la Cruz & Urrea Mallebrera, 2013).

2.2.6 Los floculantes más empleados son los siguientes:

2.2.6.1 Agentes adsorbentes

Su objetivo que los unidos de partículas obtengan más peso, como en el caso de adhesión a las arcillas que, al juntarse con flóculos ya generados, obtienen mejor resultado en la densidad. Por eso se usa otros reactivos como el carbonato cálcico ya pulverizado.

También tienen otra función que trata de adsorber partículas coloidales, formando uno que aumente de volumen de manera más rápida, como es el objetivo del carbón activo o de la tierra de diatomeas (Pérez de la Cruz & Urrea Mallebrera, 2013).

2.2.6.2 Sílice activa

Es un derivado del silicato sódico (Na_2SiO_3) en disolución, que se neutraliza con ácido que en la alcalinidad es una parte importante en cuyo momento se dice que se activa.

Tiene mucha actividad como ayuda con alumbre.

La sílice activada fue un floculante muy usado, pero en estos tiempos se usa en pequeñas cantidades o también con menos frecuencia que antes, (Pérez de la Cruz & Urrea Mallebrera, 2013).



2.2.7 Influencia del potencial zeta en la sedimentación

2.2.7.1 Potencial Zeta

Es una medida que nos dice el potencial que se necesita para entrar a una capa de iones que se encuentran alrededor de una partícula para así desestabilizarla por lo que, la potencial zeta es la carga electrostática que hay en las distancia de separación de las capas que envuelven a la partícula (Sandoval Yoval, Montellano Palacios, Piña Soberanis, & Sánchez Guzmán, 2013).

2.2.8 Absorción y neutralización de cargas

La teoría de doble capa se refiere a que cuando dos partículas semejantes se acercan se forma una fuerza de repulsión entre ellas y también esta fuerza disminuye al añadir iones de carga opuesta a las partículas y esto es el trabajo del coagulante y floculante.

2.2.8.1 Etapas de proceso de coagulación y sedimentación.

- Desestabilización de partículas en suspensión o hidrolisis de coagulante y floculante.
- Formación de compuestos químicos que polimerizan y luego sedimentan.
- Adsorción de cadenas de polímeros en el área de los coloides.
- Adsorción entre coloides.
- Barrido.



2.2.9 Composición química de floculantes

El floculante CHEMLOCK es una poliacrilamida cuyo número de CAS es 9003-05-8, composición química $(C_3H_5NO)_n$ y su fórmula molecular es



La poliacrilamida es un polímero sintético que este compuesto por monómeros de acrilamida que se usan para tratamiento de relaves en minería cuya función es aglomerar partículas en suspensión.

El floculante AR-93900 es un Ácido acrílico cuyo número de CAS es 79-10-7, composición química $C_3H_4O_2$ y su fórmula química es:



En ácido acrílico con monómeros de ácido carboxílico insaturado que es usa para producir copolímeros acrílicos que a su vez estos se usan en espesamiento y tratamiento de relaves.

2.2.9.1 Consumo de floculante

El consumo de floculante es una variable muy importante e influye de manera directa a la sedimentación y a su eficiencia.

Cuando en consumo de floculante es bajo, no se adhiera todas las partículas suspendidas lo que ocasiona un agua turbia.

Cuando el consumo de floculante es elevado lleva a subir la viscosidad del agua lo que hace que la sedimentación sea más lenta y que las partículas finas libres no logren sedimentar.



Los ensayos que se hacen para obtener la cantidad adecuada de floculante se hacen en probeta con una agitación igual en todas las pruebas para así determinar en una prueba y error que cantidad es óptima, también se puede recurrir a un diseño experimental.

2.2.9.2 Influencia del pH en la sedimentación

2.2.9.3 Concepto de pH

El pH es un dato que tiene mucha importancia en la sedimentación y también es conocido como potencial de hidrógeno y este puede medir la concentración de hidrógeno en una pulpa o solución y así saber si este es ácido o alcalino.

Un hidrogenión es un ion positivo de Hidrógeno y tiene una fórmula matemática que es:

$$pH = -\log[aH^+]$$

Donde se deduce que mientras haya más actividad de iones con cargas positivas será más ácido y cuando pase lo contrario será alcalino (HANNA Instruments, 2023).

2.2.9.4 Medida del pH

El pH se mide normalmente en un rango de 1 al 14 donde el menor es ácido, el mayor alcalino y el valor medio sería neutro. Y se usan normalmente dos instrumentos como son el pH metro y reactivos de pH (HANNA Instruments, 2023).

2.2.9.5 El pH metro

El pH metro es una herramienta la cual tiene un potenciómetro que mide el pH entre dos electrodos. Un electrodo que usualmente es de plata o cloruro de plata y el otro usualmente es vidrio que es sensible a los hidrogeniones, (HANNA Instruments, 2023).

2.2.9.6 Reactivos de pH

Los reactivos de pH lo hallamos en forma de tiras o en gotas. Se usa de manera sencilla. Se vierte una pequeña cantidad de solución sobre muestra y observando el color que adquiere el líquido se logra determinar si es ácido, alcalino o tal vez neutro. También Con las tiras tienen un método parecido, hay que sumergir las tiras y cambian de color. Es sencillo de usar, pero siempre se recomienda este tipo de métodos, (HANNA Instruments, 2023).

2.2.9.7 Importancia de medir el pH

Una variable importante y más común es el pH que cuando se trata de realizar medición en plantas de concentración de minerales, asimismo también es muy importante en las industrias alimentarias, agricultura y acuicultura. Las razones por la cual es indispensable controlar el pH es porque ha tomado una importancia a nivel de salud y medioambiental, (HANNA Instruments, 2023).

El pH tiene mucha relevancia en muchos procesos metalúrgicos y de otras áreas. También ha cobrado relevancia en la minería y control de la contaminación de efluentes, como por ejemplo neutralización de



desechos industriales. La variable de pH en general es difícil de realizar debido a la dependencia alta no lineal entre los reactivos que ingresan al sistema de pH.

También, controlar el pH en ciertos momentos se comporta en las siguientes fases no mínimas: por esta razón al disminuir el consumo de algún tipo de reactivo disminuye el pH y en otras al aumentar el flujo se produce de igual manera la reducción de pH (Amaya, Cañón, & Aviés, 2004).



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA

La metodología de investigación aplicada al tratamiento de relaves entre los floculantes CHEMLOCK versus AR-93900 para mejorar la calidad de agua será de tipo de experimental, el cual tendrá lugar en el laboratorio metalúrgico con la manipulación deliberada de variables y monitoreo dinámico de la sedimentación (Ramos Galarza, 2021).

El presente trabajo será diseñado con un enfoque cuantitativo, y cualitativo debido que con los análisis de dato se determinara que reactivo es mejor y de acuerdo con Carlos Monje quien menciona que la metodología cuantitativa surge de dos partes con las cuales se hace una hipótesis con diferentes variables y los resultados surgen por la búsqueda de información. El análisis de la de los datos sirve para ver el grado de significancia (Carlos Arturo Monje Álvarez, 2011)

3.2 ZONA DE ESTUDIO

3.2.1 Ubicación

La unidad minera San Rafael propiedad de la Empresa Minera MINSUR S.A. Se encuentra ubicada en el Departamento de Puno, Provincia de Melgar, distrito de Antauta; a una altitud 4 500 y 5 200 m.s.n.m.

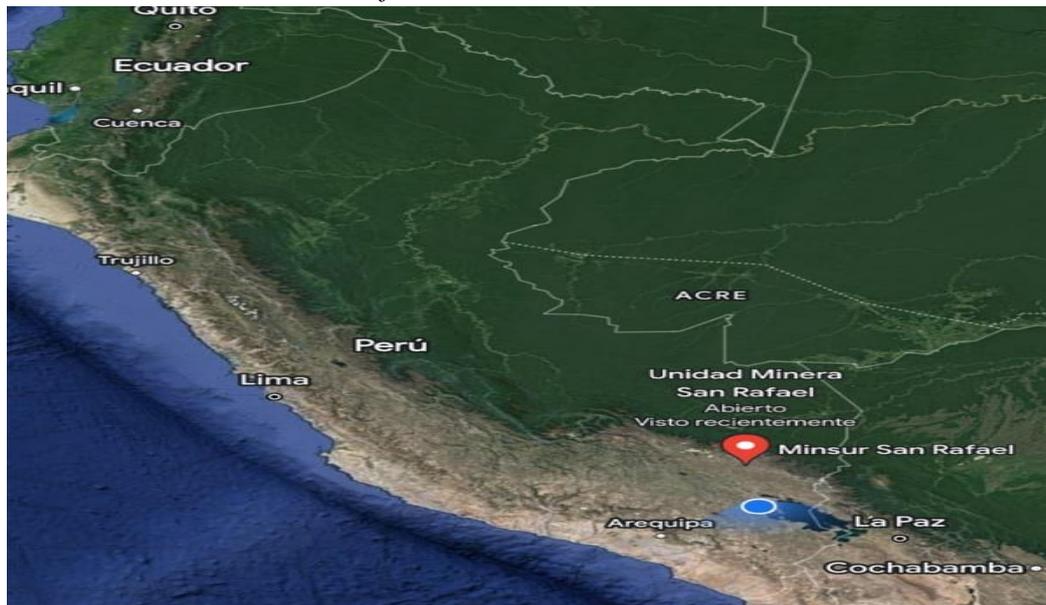
- Latitud: 14° 14´
- Longitud: 70° 19´

La ruta que parte de Juliaca es la siguiente:

- Pucara - Asillo - Antauta - San Rafael
- Azángaro - San Antón – Antauta - San Rafael

Ambas asfaltadas en su totalidad 180 Km.

Figura 2.
Ubicación de la mina San Rafael



3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Población

La población de la investigación es el relave final de la planta de beneficio B2 que está compuesto por relave de flotación y deslamado.

3.3.2 Muestra

Para la investigación, la muestra se extrajo los relaves finales de la planta B2 los cuales son el relave de flotación casiterita etapa scavenger y el Over Flow de ciclones deslamado 2 de unidad minera San Rafael.



3.3.2.1 Característica de muestra

Análisis granulométrico de muestra 425 Um al 11 Um

Tabla 1. Análisis granulométrico de relave B2

Malla	Abertura (µm)	Relave Planta B2			
		Peso gr	% en Peso	% Pasante	D80 µm
40	425		0.00		0.00
50	300		0.00		0.00
70	212	0.1	0.03	99.97	0.00
100	150	0.1	0.03	99.95	0.00
140	106	0.1	0.03	99.92	0.00
200	75	1.3	0.33	99.60	0.00
270	53	13.2	3.32	96.27	0.00
325	44	29.3	7.38	88.90	0.00
	33	30.6	7.70	81.19	31.15
	22	31.9	8.03	73.16	0.00
	15	39.3	9.89	63.27	0.00
	11	49.0	12.34	50.93	0.00
	<11	202.3	50.93	0.00	

Fuente: elaboracion propia



Tabla 2. Gravedad específica de relave B2

N°	Muestra	Peso g.			Gravedad Específica g/cc		
		Fiola Vacía	Fiola Enrasada	Muestra	Fiola Vacía con Muestra	Fiola con Muestra Enrasada	Promedio
1	Relave	87.85	337.37	56.72	144.57	373.59	2.766
	B2	86.12	335.47	55.79	141.91	371.18	

Fuente: Elaboración propia.

3.4 MATERIAL Y EQUIPOS

3.4.1 Recursos necesarios

Al realizar el estudio comparativo de floculantes CHEMLOCK vs AR-93900 a nivel laboratorio, se necesitará:

3.4.1.1 Infraestructura

- Preparación de muestras.
- Pruebas metalúrgicas.
- Área de ensayo de muestras.

3.4.1.2 Personal

- Técnico metalurgista
- Ayudante metalúrgico.



3.4.1.3 Materiales:

- Baldes de plástico de 20, 8 y 4 litros cap.
- Vasos de precipitados de 1l, 500 ml, 100 ml y 50 ml cap.
- Jeringa de 10 ml cap.
- Probetas de 1 L cap.
- Cuchara de agitado.
- Luna de vidrio.
- Plumón de tinta indeleble.
- Papel milimétrico o cinta masking.
- Floculantes.
- Agitador de pulpa.
- Agitador manual.
- Lapiceros.
- Plumones.
- Marcadores.
- Lápiz.
- Papel bond.
- Borrador.
- Cuaderno.



- Fólderes.

3.4.1.4 Equipos:

- Balanza de precisión (METTLER TOLEDO, precisión: 0.01)
- Potenciómetro (Thermo ORION STAR A211)
- Turbidímetro (Thermo ORION AQ4500)
- Computador.
- Calculadora.
- Impresora.
- Data display.
- Fotocopiadora.
- Usb.
- Cámara fotográfica.
- Filmador.
- Cronometro.

3.4.1.5 Reactivos:

- Hidróxido de calcio (Comercial)
- Floculante CHEMLOCK (Comercial)
- Floculante AR-9390 (Comercial)



3.4.1.6 softwares:

- Word.
- Excel.

3.4.1.7 Equipos de Protección Personal

- Protector y barbiquejo
- Lentes de seguridad
- Respirador con filtro para polvo
- Mameluco con cintas reflectivas
- Zapatos y/o botas de seguridad, con punta de acero
- Tapones de oído y/u orejeras
- Guantes de nitrilo y jebe

3.5 Procedimiento experimental

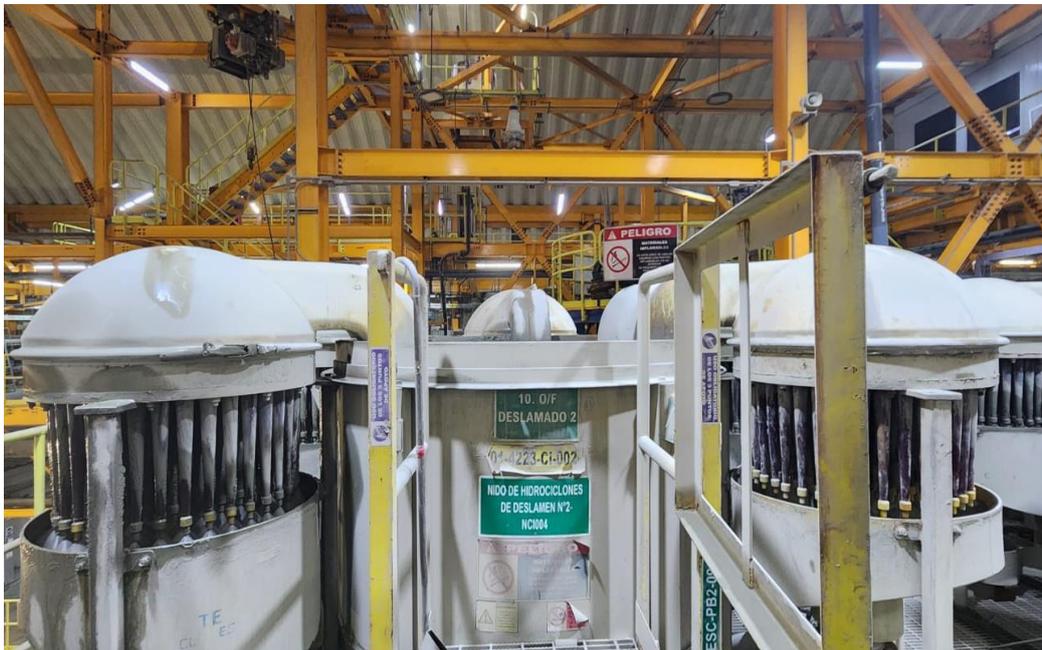
3.5.1 Muestreo

La toma de muestra se realizó en la salida de relaves los cuales son el relave de scavenger flotación y O/F de ciclones deslamado 2 de la planta de beneficio B2 en la unidad minera San Rafael.

Figura 3.
Punto de muestreo relave scavenger.



Figura 4.
Punto de muestreo relave gravimetría.





3.5.2 Preparación de solución floculante

- El técnico metalurgista, preparará solución floculante antes de ser utilizada.
- Para preparar una solución al 0,04 % en 500 ml proceder de la siguiente manera:

$$W \text{ de floculante} = \frac{500 \text{ g} \times 0.04\%}{100} = 0.2 \text{ g}$$

$$W \text{ agua} = 500 \text{ g} - 0.2 = 499.8 \text{ g}$$

- Colocar 499.8 ml de agua en un recipiente.
- Agitar hasta crear un vórtice.
- Añadir 0.2 g de floculante al borde del vórtice de manera que se produzca una dispersión uniforme y sin grumos.
- Continuar agitando hasta que todo el floculante esté disuelto (aprox. por 3 horas).

3.5.3 Preparación de muestras

- Tomar muestra de pulpa de relave Scavenger flotación casiterita, medir pH, densidad y tomar muestra de % solidos.
- Tomar muestra de pulpa de O/F de nido de hidrociclones deslamado II, medir pH, densidad y tomar muestra de % solidos.
- Juntar ambas muestras de manera proporcional



Tabla 3. Fracciones de flujos de relaves B2

Flujo	Fracción	Volumen L
Relave Flotación Casiterita	0.16	2.91
O/F de nido de hidrociclones deslamado II	0.83	14.00
	Total	16.91

Fuente: Elaboración propia

- Homogenizar la pulpa en el balde y con un vaso precipitado agregar a la probeta hasta enrasar.
- Pegar en la probeta limpia y seca una cinta de papel milimétrico o cinta masking tape desde 0 hasta su altura total. Posteriormente identificar la probeta con los datos del ensayo y pesarla.
- Pesar la probeta con pulpa, si la probeta es de 1 litro el peso de la pulpa debe ser igual a la densidad de pulpa medida, si esta diferente ajustar agregando o disminuyendo el contenido de agua y sólidos.
- Se cuarteará en pulpa a 22 probetas de manera homogénea
- Se acondicionará el pH a cada probeta agregando hidróxido de calcio de manera cuidadosa hasta llegar al pH requerido

Figura 5.

Acondicionando pH.



- Con una jeringa agregar a la probeta con pulpa la solución floculada, procediendo a agitar la probeta tapada y evitando derramar pulpa.

Figura 6.

Adición de floculante a probeta.



- Colocar la probeta en una superficie rígida y segura y agitar de manera vertical sosteniendo la probeta con fuerza hacer esta acción 3 veces de manera lenta y tomar tiempo en cronometro.

Figura 7.

Agitación de pulpa para cinética de sedimentación.



- Marcar en la cinta milimétrica en los tiempos 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 300, 600, 900, 1200, 1800, 3600, 5400 segundos la altura de la interfase líquido claro - pulpa hasta que no haya variación, cada prueba es variable y dependerá del pH y el consumo de floculante.
- Al finalizar la prueba se procederá a medir la distancia en cada fracción de tiempo, los datos obtenidos se registrarán.

3.5.4 Cálculo para obtención de datos

- Determinación del % solidos:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Peso humedo}} \times 100$$



$$\% \text{ Sólidos} = \frac{325.49}{3207.81} \times 100 = 10.15\%$$

- Determinación de la gravedad específica:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{P3}{(P2 - P1) - (P4 - P3 - P1)}$$

Pesos en gramos:

P1: Fiola en estado vacío

P2: Fiola enrasada más agua

P3: Mineral

P4: Mineral más agua enrasada

$$\begin{aligned} \text{Gravedad Específica} &= \frac{56.72}{(337.37 - 87.85) - (373.59 - 56.72 - 87.85)} \\ &= 2.77 \end{aligned}$$

- Determinación de la densidad de pulpa:

$$\text{Densidad de pulpa} = \frac{1000}{1 - \left(\left(\frac{\% \text{ Sólidos}}{100} \right) \times \frac{(\text{Gravedad específica} - 1)}{\text{Gravedad específica}} \right)}$$

$$\text{Densidad de pulpa} = \frac{1000}{1 - \left(\left(\frac{10.15}{100} \right) \times \frac{(2.77 - 1)}{2.77} \right)} = 1069.3$$

- Determinación de la dosificación de floculante en ml.

Dosificación (ml)

$$= \frac{\text{Peso de Mineral en 1L} \times \text{Consumo de floculante}}{\text{Concentración de Floculante}} \times 100$$



$$Dosificación (ml) = \frac{\frac{107.11 \times 24.7}{1000000} \times 100}{0.04} = 6.61 \text{ ml}$$

3.5.5 Realización de limpieza del área de trabajo

- El técnico metalurgista, deberá hacer limpieza de la zona de trabajo:
- Estructura y piso de la balanza.
- Cuarteador de rifles.
- Colocar baldes en su respectivo lugar.
- Colocar las espátulas y brochas en su respectivo lugar.
- Colocar los cuarteadores en su respectivo lugar.
- Colocar las mangueras y herramientas en su respectivo lugar.
- Colocar las probetas en su respectivo lugar.

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

3.6.1 Selección de variables para la clarificación de agua

Las variables son: pH de la pulpa y el consumo de floculante donde la respuesta es los sólidos totales en suspensión (TSS).



Tabla 4.
Variables de diseño.

VARIABLES	NIVEL MÍNIMO (-)	NIVEL MÁXIMO (-)
pH	10	11
Consumo de Floculante	19.76 g/Ton	29.64 g/Ton

Fuente: Elaboración propia

Teniendo estos datos que se sacaron de las pruebas exploratorios y graficándolo en un cuadro se puede continuar con el diseño experimental.

3.6.2 Análisis estadístico de pruebas de sedimentación

3.6.2.1 Diseño factorial

Se utilizará el análisis conocido como diseño factorial 2^k , del tipo $N = 2^k$ y se trabajará con 2 niveles, “K” que son las variables en la que consideraremos 2 para realizar las pruebas de sedimentación y compactación consideramos 2 Réplicas y un dato intermedios, lo que nos da $N = 8$ más dos intermedios suman 10 pruebas para ambos floculantes y en total de pruebas nos da 20 pruebas según los autores Medina y López, quienes concluyen que la indagación de combinaciones de variables da lugar a un diseño experimental que es un grupo de pruebas experimentales (Medina Varela & Lopez Reyes, 2011)

3.6.2.2 Evaluación de las pruebas

Tabla 5.
Variables de diseño factorial CHEMLOCK.

				TURBIDEZ
A	B	C		Tss
				PS
FLOCULANTE	pH	Consumo	PS	réplica
CHEMLOCK	10	19.76	42	45
CHEMLOCK	10	29.64	19	25
CHEMLOCK	11	19.76	21	35
CHEMLOCK	11	29.64	12	10
CHEMLOCK	11	24.7	27	28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.
Variables de diseño factorial AR-93900.

				TURBIDEZ
A	B	C		Tss
				PS
FLOCULANTE	pH	Consumo	PS	réplica
AR-93900	10	19.76	40	40
AR-93900	10	29.64	19	23
AR-93900	11	19.76	24	33
AR-93900	11	29.64	13	11
AR-93900	11	24.7	21	23

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.3 Evaluación y cálculo de los efectos de las variables experimentales para la sedimentación de relave.

Con estos datos de la tabla se logra determinar la influencia de las variables de pH y consumo de floculante del diseño factorial en la en la mejora de la calidad de agua y es por eso se usará estas tablas.



Tabla 7.
Análisis de varianza con reactivo CHEMLOCK.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	1201.37	400.458	60.45	0.001
Lineal	2	1200.25	600.125	90.58	0.000
pH	1	210.13	210.125	31.72	0.005
Consumo	1	990.12	990.125	149.45	0.000
Interacciones de 2 términos	1	1.13	1.125	0.17	0.701
pH*CONSUMO	1	1.13	1.125	0.17	0.701
Error	4	26.50	6.625		
Total	7	1227.87			

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 8.
Coefficientes codificados con reactivo CHEMLOCK.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		27.625	0.910	30.36	0.000	
pH	- 10.250	-5.125	0.910	-5.63	0.005	1.00
CONSUMO	- 22.250	- 11.125	0.910	- 12.23	0.000	1.00
pH*CONSUMO		-0.750	0.910	-0.41	0.701	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Resumen del modelo para reactivo CHEMLOCK.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.57391	97.84%	96.22%	91.37%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.
Ecuación de regresión en unidades no codificadas para reactivo CHEMLOCK.

$$\text{TSS (ppm)} = 151.5 - 6.50 \text{ pH} - 0.66 \text{ CONSUMO} - 0.152 \text{ pH*CONSUMO}$$

Fuente: Elaboración propia.

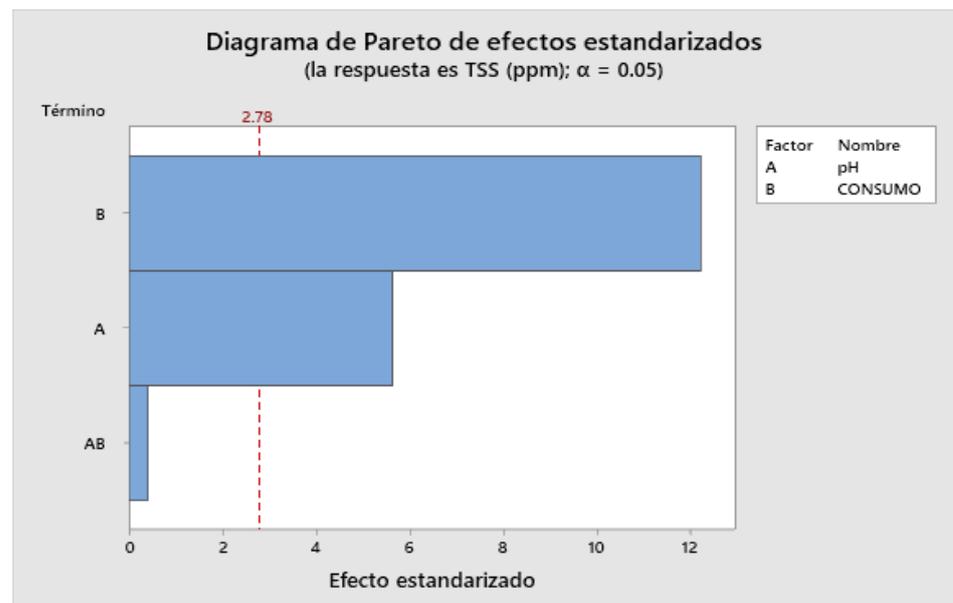
Con esta ecuación de regresión se llegará a saber el valor de respuesta para Los sólidos totales en suspensión (Tss)

3.6.2.4 Análisis de Pareto para reactivo CHEMLOCK

Este gráfico estadístico no ayuda a analizar visualmente el diagrama de Pareto, donde se ve la significancia de las variables o su significancia, y deduciéndose de la imagen que la variable más significativa es el consumo de floculante luego está la influencia del pH y también se podrá encontrar la interacción de ambos.

Figura 8.

Diagrama de Pareto del reactivo CHEMLOCK.



3.6.2.5 Respuesta de Optimización CHEMLOCK



Tabla 11.
Parámetros de prueba con floculante CHEMLOCK.

Respu esta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
TSS (ppm)	Objetivo	10	22	45	1	1

Fuente: Elaboración propia.

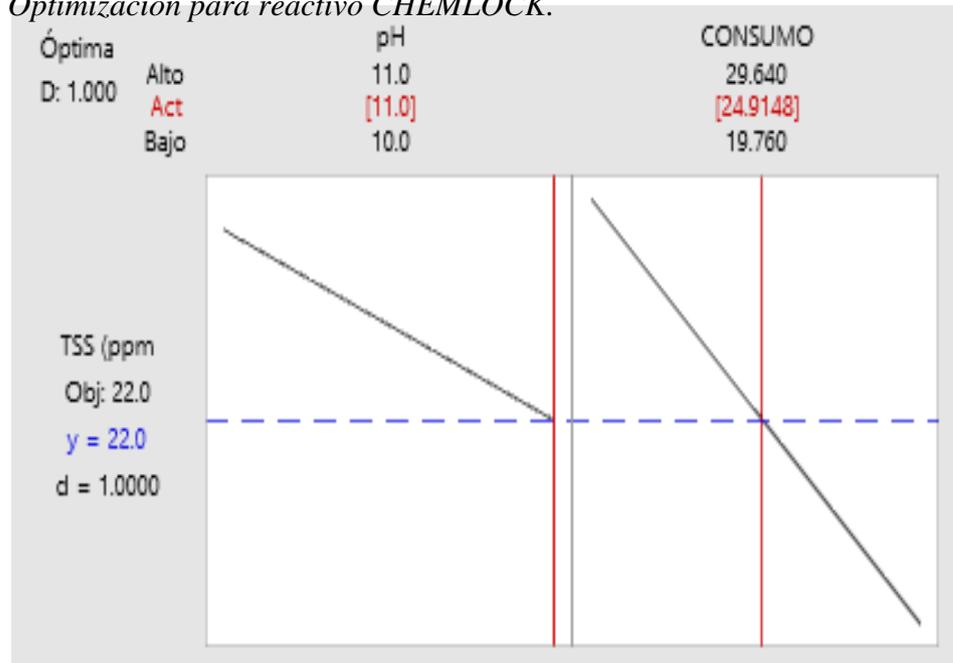
Tabla 12.
Predicción de respuesta múltiple para reactivo CHEMLOCK.

Variable	Valor de configuración			
pH	11			
CONSUMO	24.9148			
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
TSS (ppm)	22.00	1.29	(18.42; 25.58)	(14.01; 29.99)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.

Optimización para reactivo CHEMLOCK.



En esta imagen se observa que según el objetivo se debe llegar a tener un consumo de 24.9148 g/TMS y trabajar con un pH de 11 para así tener un resultado óptimo.

Tabla 13.

Análisis de Varianza con reactivo AR-93900.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	822.38	274.125	75.62	0.001
Lineal	2	786.25	393.125	108.45	0.000
pH	1	351.13	351.125	96.86	0.001
CONSUMO	1	435.12	435.125	120.03	0.000
Interacciones de 2 términos	1	36.12	36.125	9.97	0.034
pH*CONSUMO	1	36.12	36.125	9.97	0.034
Error	4	14.50	3.625		
Total	7	836.88			

Fuente: Elaboración propia



Tabla 14.
Coefficientes codificados con reactivo AR-93900.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		23.875	0.673	35.47	0.000	
pH	-13.250	-6.625	0.673	-9.84	0.001	1.00
Consumo	-14.750	-7.375	0.673	-10.96	0.000	1.00
pH*Consumo	4.250	2.125	0.673	3.16	0.034	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.
Resumen del modelo para reactivo AR-93900.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.90394	98.27%	96.97%	93.07%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.
Ecuación de regresión en unidades no codificadas para reactivo AR-93900.

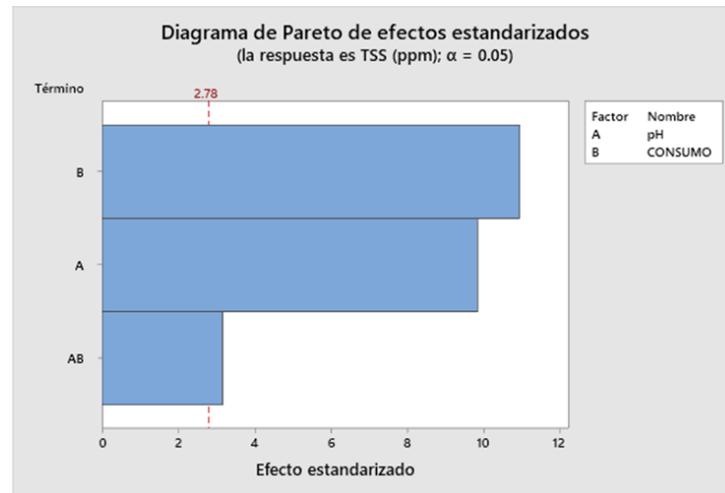
$$\text{TSS (ppm)} = 423.0 - 34.50 \text{ pH} - 10.53 \text{ CONSUMO} + 0.860 \text{ pH*CONSUMO}$$

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.6 Análisis de Pareto para reactivo AR-93900

Figura 10.

Diagrama de Pareto para reactivo AR-93900.



3.6.2.7 Respuesta de Optimización AR-93900

Tabla 17.

Parámetros de prueba con floculante AR-93900.

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
TSS (ppm)	Objetivo	11	17.0217	40	1	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.

Parámetros Predicción de respuesta múltiple para reactivo AR-93900.

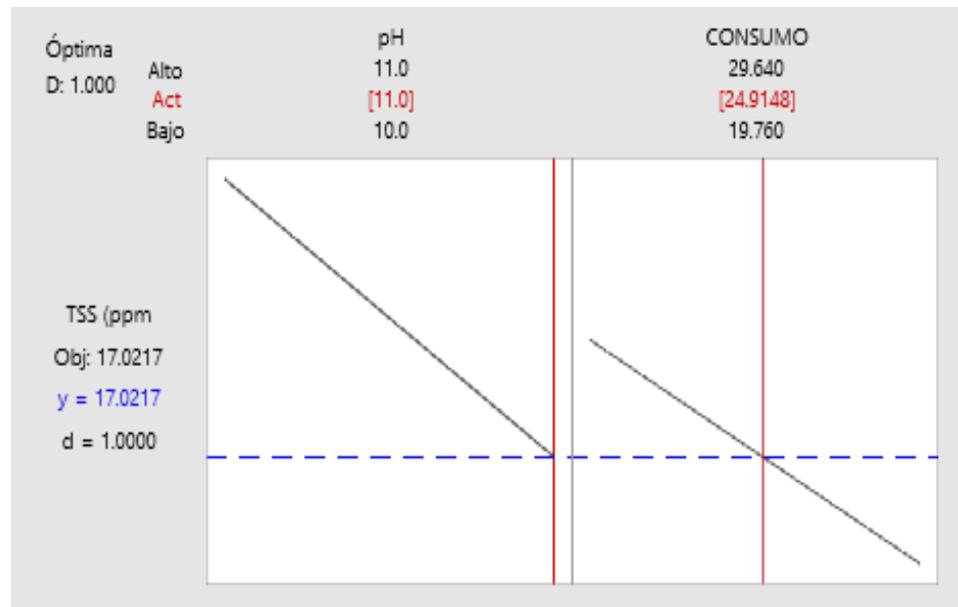
Variable	Valor de configuración
pH	11
CONSUMO	24.9148

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
TSS (ppm)	17.022	0.953	(14.376; 19.667)	(11.110; 22.933)

Fuente: Elaboración propia

Figura 11.

Optimización para reactivo AR-93900.



En este grafico de optimización consideramos lo valores óptimos del floculante CHEMLOCK para así obtener una comparativa entres en CHEMLOCK y el AR-93900.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

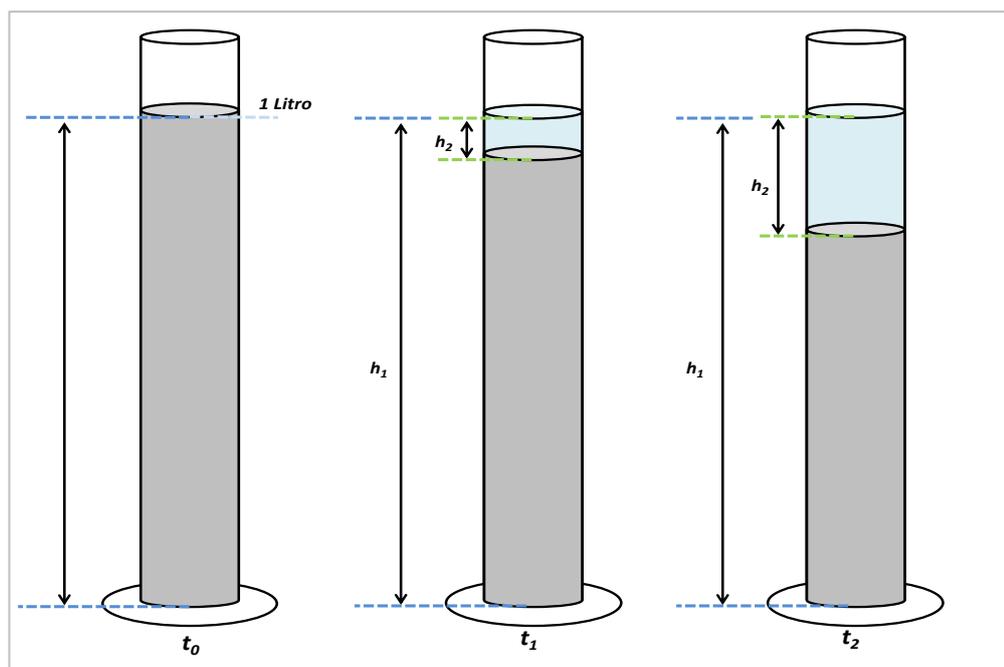
4.1 PRUEBAS DE SEDIMENTACIÓN

4.1.1 Prueba de sedimentación estándar

Para empezar con las pruebas, se estandarizo la prueba general que servirá como referencia para las posteriores pruebas donde se aplicará la optimización y comparativa, esta prueba estándar de laboratorio metalúrgico tendrá valores iguales a la planta de beneficio B2. (Choquegonza, 2021).

- h_1 : Altura Inicial de la Pulpa
- h_2 : Altura de Agua Clarificada
- $h_1 - h_2$: Altura de Pulpa Sedimentada

Figura 12. Grafica de prueba de sedimentación.





4.2 pH EN SEDIMENTACION:

es utilizado para mejorar la sedimentacion debido a que optimiza la claridad de agua, la reegulacion de pH se realiza agregando hidroxido de calcio puro al incio de la sedientacion el pH estandar es 10.5

4.3 CONSUMO DE FLOCULANTE:

la funcion del floculanet es neutralizar las cargas electrostaticas de las particulas en suspension de emodo que reduce la fuerza de repulcion entre ellos para que las particulas se unan entre si, formando floculos cada vez mas grandes que sedimentan facilmente.

Tabla 19.
Parámetros estándar de pruebas de sedimentación.

Por:	Edwin Pari
MUESTRA	Relave Planta B2
F. Muestreo	30/05/2023
F. Prueba	31/05/2023
Dosificación Floculante Planta(g/TMS)	24.7
Concentración de Floculante (% p/p)	0.04
Sólidos en 1L Pulpa (g)	107.11
Densidad Pulpa (g/l)	1069.3
% Solidos	10.15
pH inicial	5.37
D80 (µm)	31.15 Um
Ge (g/cc)	2.77

Fuente: Elaboracion propia

Figura 13.

Resultados de cinética sedimentación estándar

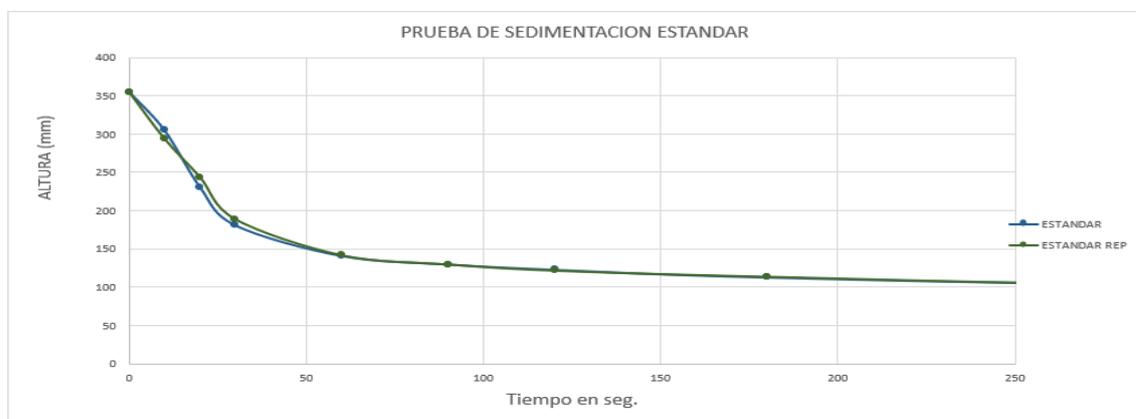




Tabla 20.
Promedio de resultados de la prueba estándar.

Tiempo en seg.	Altura de Pulpa Sedimentada (mm)	Velocidad de Sedimentación (mm/s)	Tss (ppm)
10	355		
20	300	6	
30	238	6	
60	185	6	
90	142	4	
120	130	3	
180	123	2	
300	114	1	27.5
600	103	1	
900	93	0	
1200	87	0	
1800	83	0	
3600	79	0	
5400	72	36	

Fuente: Elaboración propia

Esta prueba es lo más parecido a la sedimentación en el relave bofedal 3 pero en condiciones de laboratorio para así obtener resultados más rápido y eficiente

Las pruebas deben realizarse por duplicado para obtener mayor veracidad de resultados

4.3.1 Pruebas de sedimentación con floculante CHEMLOCK y AR-93900 para diseño factorial

Se realiza 8 pruebas para cada floculante los cuales son CHEMLOCK Y AR-93900 y en total son 16 pruebas

Tabla 21.
Concentración de floculantes.

CHEMLOCK	0.04 %
AR-93900	0.04 %

Fuente: Elaboración propia

Figura

14.

Floculante CHEMLOCK.



Figura 15.

Floculante AR-93900.



Figura

16.

Hidróxido de calcio.





Tabla 22.
Distribución de pruebas de flotación.

TEST	PRUEBAS	FLOCULANTE	pH	CONSUMO
1	PRUEBA 1	CHEMLOCK	10	19.76
2	PRUEBA 1 REP	CHEMLOCK	10	19.76
3	PRUEBA 2	CHEMLOCK	10	29.64
4	PRUEBA 2 REP	CHEMLOCK	10	29.64
5	PRUEBA 3	CHEMLOCK	11	19.76
6	PRUEBA 3 REP	CHEMLOCK	11	19.76
7	PRUEBA 4	CHEMLOCK	11	29.64
8	PRUEBA 4 REP	CHEMLOCK	11	29.64
9	PRUEBA 5	AR-93900	10	19.76
10	PRUEBA 5 REP	AR-93900	10	19.76
11	PRUEBA 6	AR-93900	10	29.64
12	PRUEBA 6 REP	AR-93900	10	29.64
13	PRUEBA 7	AR-93900	11	19.76
14	PRUEBA 7 REP	AR-93900	11	19.76
15	PRUEBA 8	AR-93900	11	29.64
16	PRUEBA 8 REP	AR-93900	11	29.64

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 23.
Tiempos de cinética de sedimentación.

Tiempo en MIN.	Tiempo en seg.
0.0	0
0.2	10
0.3	20
0.5	30
1.0	60
1.5	90
2.0	120
3.0	180
5.0	300
10.0	600
15.0	900
20.0	1200
30.0	1800
60.0	3600
90.0	5400

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24.

Resultados de prueba de sedimentación

TEST	PRUEBAS	FLOCULANTE	pH	CONSUMO	TSS (ppm)
1	PRUEBA 1	CHEMLOCK	10	19.76	42
2	PRUEBA 1 REP	CHEMLOCK	10	19.76	45
3	PRUEBA 2	CHEMLOCK	10	29.64	19
4	PRUEBA 2 REP	CHEMLOCK	10	29.64	25
5	PRUEBA 3	CHEMLOCK	11	19.76	33
6	PRUEBA 3 REP	CHEMLOCK	11	19.76	35
7	PRUEBA 4	CHEMLOCK	11	29.64	12
8	PRUEBA 4 REP	CHEMLOCK	11	29.64	10
9	PRUEBA 5	AR-93900	10	19.76	40
10	PRUEBA 5 REP	AR-93900	10	19.76	40
11	PRUEBA 6	AR-93900	10	29.64	19
12	PRUEBA 6 REP	AR-93900	10	29.64	23
13	PRUEBA 7	AR-93900	11	19.76	24
14	PRUEBA 7 REP	AR-93900	11	19.76	21
15	PRUEBA 8	AR-93900	11	29.64	13
16	PRUEBA 8 REP	AR-93900	11	29.64	11

Fuente: Elaboración propia

4.4 PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN CON RESPUESTA DEL DISEÑO FACTORIAL

Diseño realizado con datos óptimos para su posterior determinación de mejor floculante con los siguientes parámetros.

- pH: 11
- consumo: 24.9148 g/TMS

Tabla 25.

Resultados de pruebas de sedimentación óptima

Prueba	Floculante	Consumo	pH	Dosificación	Vel. Sed. (mm/s)	NTU	TSS (ppm)	Fe Total	Mn Total
		g/TMS		ml			ppm	ppm	
PRUEBA 1	CHEMLOCK	24.9148	11	6.67	5.3	26.8	22.5	1.9	0.036
PRUEBA 2	AR-93900	24.9148	11	6.67	4.8	24.3	17.5	1.8	0.025

Fuente: Elaboración propia

Figura 17.

Curva de cinética de sedimentación de resultados óptimos.

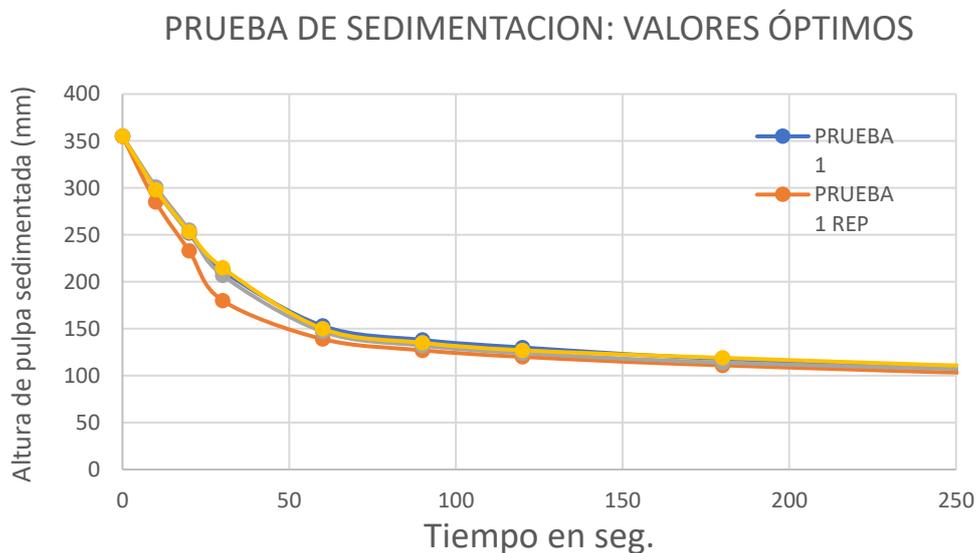
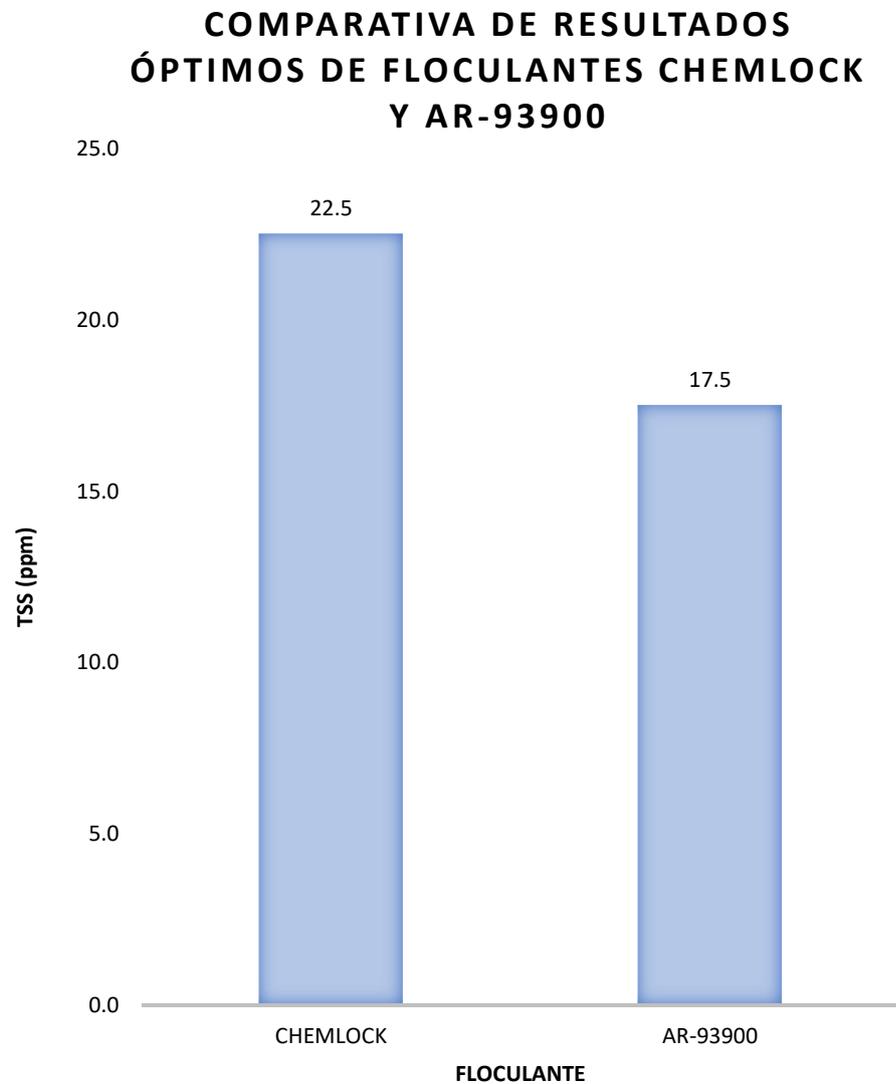


Figura 18.

Comparativa de resultados óptimos entre CHEMLOCK y AR-93900.





V. CONCLUSIONES

Para realizar el estudio comparativo de tratamiento de relaves entre los floculantes CHEMLOCK versus AR-93900 y mejorar la calidad de agua fue necesario evaluar y escoger las variables más influyentes en las pruebas.

- El pH adecuado es de 11 lográndose mejorar los resultados en comparación al estándar en un 27.3 % con lo que se logra mejorar la calidad de agua en la empresa minera San Rafael – MINSUR – Puno.
- El consumo óptimo de floculante es de 24.9148 g/TMS lográndose mejorar la calidad de agua en la empresa minera San Rafael – MINSUR – Puno.
- El floculante ideal es el AR-93900 debido a que comparando ambos floculantes es situaciones optimas este presento un TSS de 17.5 superando así al CHEMLOCK en 22.2 %.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estas pruebas para otros relaves de la unidad minera MINSUR como es el caso del relave de la planta Camilo Zeballos.
- Debido a la importancia del pH, se recomienda acondicionar el pH en una pulpa general para así verter la pulpa acondicionada a las probetas para poder mejorar el tiempo de prueba.
- Se sugiere que al momento de preparar los floculantes se homogenice más de 4 horas para que así no se generen grumos lo que dañaría la prueba.
- Debido a que las pruebas en laboratorio son precisas se sugiere mantener los equipos calibrados correctamente como es el caso del potenciómetro y turbidímetro.
- Antes de realizar la prueba se sugiere limpiar todos los materiales para así evitar los errores.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya , W. F., Cañón, Ó. A., & Aviés, Ó. (2004). *Control de pH para tratamiento de aguas residuales*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina , 1.
- Barajas Garzón, C. L., & León Luque, A. J. (2015). *Determinación de dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio de uso de una red neuronal artificial*. Bogotá: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
- Cardozo, S. (2019). *Estaño: Trascendencia Mundial. Produccion Perú*. Revista Química.
- Carrera García , G., & Infante Torres, E. R. (2015). *Influencia del pH, Concentración de Coagulante y Floculante en la remoción de sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno y turbidez en efluente de lavado de pulpa* . Universidad Nacional de Trujillo Facultad de Ingeniería Química Escuela de Ingeniería Ambiental.
- García Saldaña, C. A., & Tongombol Chuquiango, D. V. (2018). *Los relaves mineros, su efecto en el medio ambiente y la salud*. EAP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión.
- Gustafsson, Nordenswan, & Rosenholm. (2003). *Effect of pH on the sedimentación, Z-potencial, and rheology of anotase suspensions*. Colloids and surfaces.
- HANNA Instruments. (2023). *¿Qué es el pH?* HANNA Instruments S.A.S.
- ICMM, I. c. (2023). *Residos de relaves*. ICMM.
- Kerlinger, F. (1982). *Investigación del comportamiento cuarta edición*. McGRAW-HILL INTERAMERICANA DE CHILE, 148.



- Mazar, & Falcón Hernández. (2007). *Sedimentación de pulpas minerales lateríticas en la tecnología de lixiviación ácida a presión*. Minería y Geología .
- Medina Varela, P. D., & Lopez Reyes, A. M. (2011). *Análisis crítico del diseño factorial 2k sobre casos aplicados*. Universidad Tecnológica de Pereira, 1.
- Monje Alvares, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa guía didáctica*. Universidad surcolombiana facultad de ciencias sociales y humanas programa de comunicación social y periodismo NEIVA, 123.
- Orozco Rios, C. A. (2009). *Estudio de sedimentación de suspensiones y su efecto en la reducción de humedad en la pasta en proceso de la industria del cemento*. Universidad nacional de Colombia facultad de minas escuela de ingeniería de materiales Medellin.
- Pérez de la Cruz , F. J., & Urrea Mallebrera, M. A. (2013). *Coagulación y Floculación*. Universidad Politécnica de Cartagena .
- Pérez Farrás. (2005). *Teoría de sedimentación*. Instituto de ingeniería sanitaria y ambiental, 2.
- Ramos Galarza, c. (2021). *Diseños de investigación*. CienciAmérica.
- Salcedo Delgado, B. A. (2015). *Estudio para mejorar la recuperación de estaño mediante la flotacion inversa de sulfuros en la planta piloto bofedal II de la unidad minera MINSUR S.A.*
- Sandoval Yoval, L., Montellano Palacios, L., Piña Soberanis, M., & Sánchez Guzmán, L. (2013). *Potencial Zeta como una herramienta para determinar la aglomeración*



de las partículas en la reducción del volumen del lodo a disponer. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Sojo Cardozo, P. (2019). *Estaño: Tracendencia Mundial. Produccion Perú.* Artículo de investigación Revista de Química.

Tejada Mayta, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros.* Puno: Universidad nacional de altiplano .

Usos de la cal en tratamientos de aguas. (2002). Grupo Calidra, México.

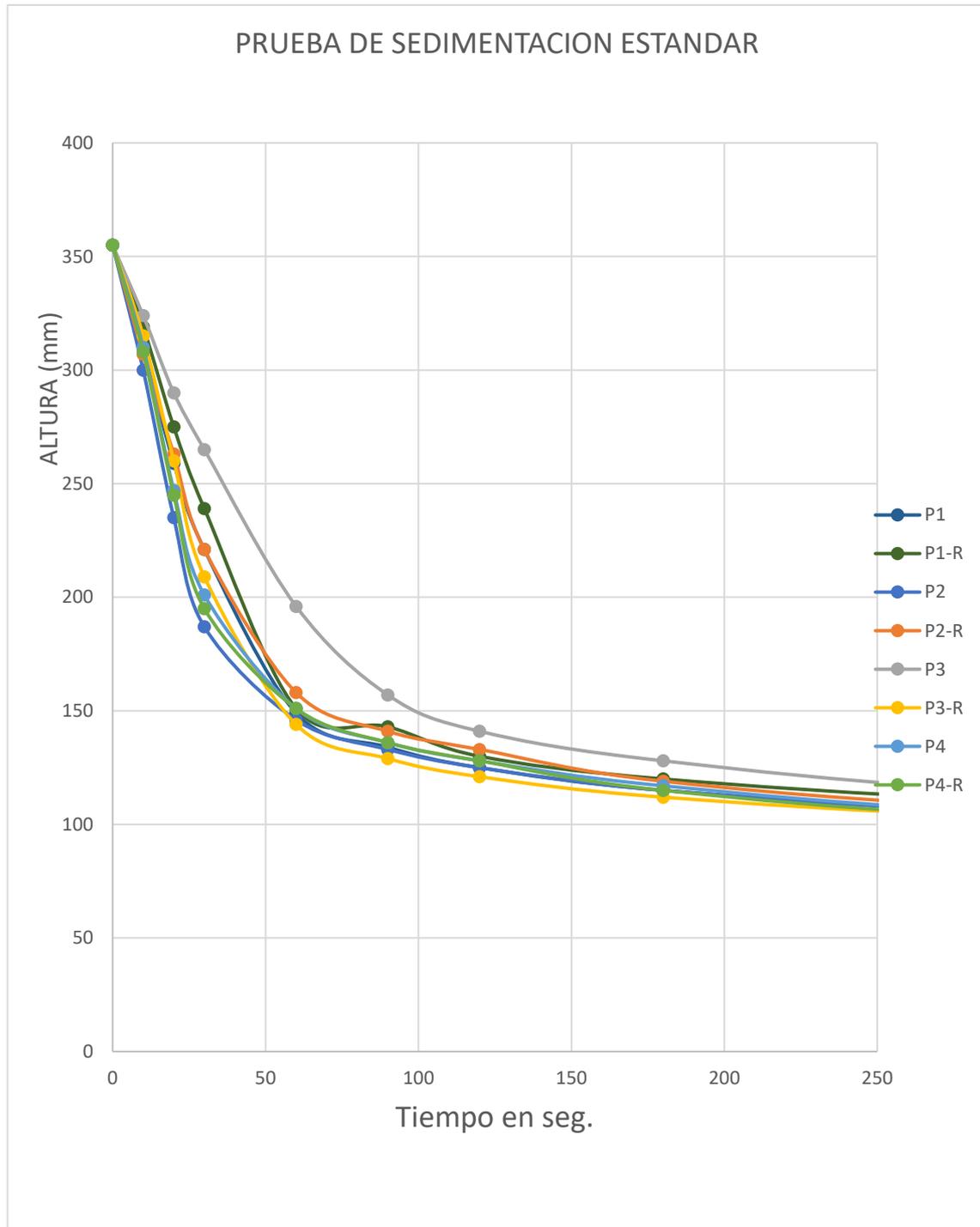
Yacoub López , C. (2010). *Estudio sobre metales pesados en sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, Perú.* Univesidad Politécnica de Catalunya .



ANEXOS

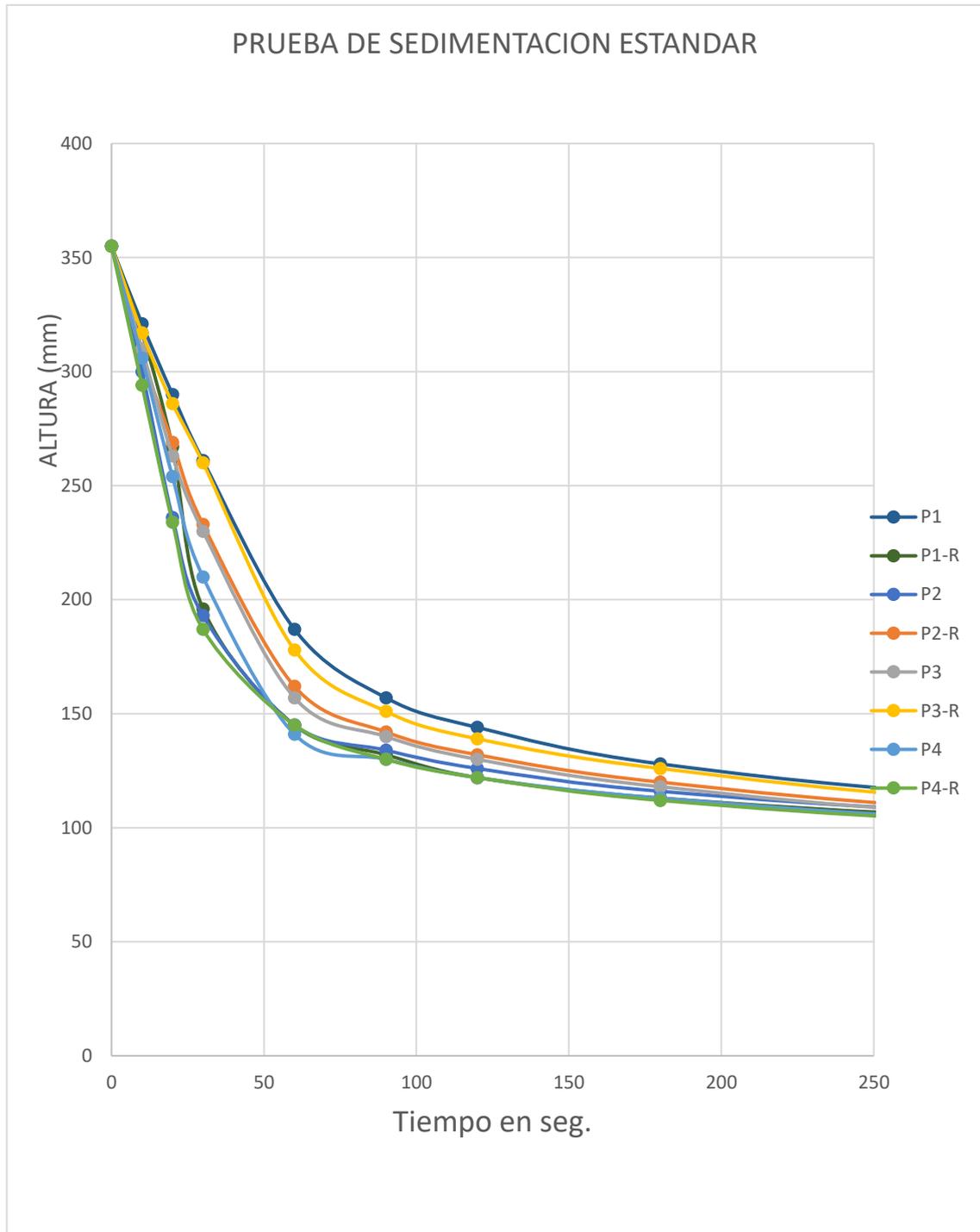
ANEXO 1: ANÁLISIS DE CINÉTICA DE SEDIMENTACIÓN DE FLOCULANTE

CHEMLOCK



ANEXO 2: ANÁLISIS DE CINÉTICA DE SEDIMENTACIÓN DE FLOCULANTE

AR-93900





ANEXO 3: VELOCIDAD DE CINÉTICA DE SEDIMENTACIÓN DEL FLOCULANTE CHEMLOCK

Tiempo en min.	Tiempo en seg.	Altura Inicial de la Pulpa (mm)	Velocidad de sedimentación (mm/s)								
			P1	P1-R	P2	P2-R	P3	P3-R	P4	P4-R	
0.0	0	355									
0.2	10	355	4.6	3.6	5.5	4.8	3.1	4.0	4.5	4.7	
0.3	20	355	4.8	4.0	6.0	4.6	3.3	4.8	5.4	5.5	
0.5	30	355	4.5	3.9	5.6	4.5	3.0	4.9	5.1	5.3	
1.0	60	355	3.4	3.4	3.5	3.3	2.7	3.5	3.4	3.4	
1.5	90	355	2.5	2.4	2.5	2.4	2.2	2.5	2.4	2.4	
2.0	120	355	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	2.0	1.9	1.9	
3.0	180	355	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	
5.0	300	355	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
10.0	600	355	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
15.0	900	355	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
20.0	1200	355	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
30.0	1800	355	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
60.0	3600	355	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
90.0	5400	355	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	



ANEXO 4: VELOCIDAD DE CINÉTICA DE SEDIMENTACIÓN DEL FLOCULANTE AR-93900

Tiempo en min.	Tiempo en seg.	Altura Inicial de la Pulpa (mm)	Velocidad de sedimentación (mm/s)								
			P1	P1-R	P2	P2-R	P3	P3-R	P4	P4-R	
0.0	0	355									
0.2	10	355	3.4	3.8	5.5	4.8	4.5	3.8	4.9	6.1	
0.3	20	355	3.3	4.4	6.0	4.3	4.6	3.5	5.1	6.1	
0.5	30	355	3.1	5.3	5.4	4.1	4.2	3.2	4.8	5.6	
1.0	60	355	2.8	3.5	3.5	3.2	3.3	3.0	3.6	3.5	
1.5	90	355	2.2	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.5	2.5	
2.0	120	355	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	
3.0	180	355	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	
5.0	300	355	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
10.0	600	355	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
15.0	900	355	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
20.0	1200	355	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
30.0	1800	355	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
60.0	3600	355	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
90.0	5400	355	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

ANEXO 5: FOTOGRAFIAS



FLOCULANTES ARENAS PARA PRUEBAS EXPLORATORIAS



MUESTREO DE AGUA CLARIFICADA DE PRUEBA DE SEDIMENTACION



COMPACTACIÓN DE PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN



MUESTRAS DE AGUA PARA ENVIAR A LABORATORIO QUÍMICO

	NH1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	N2	N3	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	
10	6	28	25	25	31	19	34	25	3	41	31	40	37	30	33	35	2	76	35	31	40	35	33	36
20	8	62	55	65	59	47	73	55	5	86	72	98	82	69	76	73	4	80	84	80	83	77	73	78
30	10	94	89	745	93	72	113	85	6	124	125	146	125	105	120	107	6	122	135	134	128	120	114	118
1	14	179	175	224	176	148	204	162	12	226	219	245	226	190	220	202	12	238	258	257	247	237	228	278
113	20	223	225	242	220	203	236	212	18	249	247	260	248	236	248	236	18	261	272	273	267	266	265	261
2	25	238	236	250	235	223	247	230	25	260	257	267	260	250	260	250	25	271	279	280	276	275	273	272
3	36	354	255	260	251	243	260	245	35	273	269	275	271	263	272	265	37	282	288	282	285	283	283	282
5	60	270	265	272	266	260	273	263	60	285	280	285	283	276	284	280	64	282	286	282	285	284	283	282
10	116	283	280	285	282	278	286	280	115	292	295	294	283	276	284	280	64	282	286	282	285	284	283	282
15	167	291	287	292	288	286	292	288	170	300	297	294	299	297	300	295	125	303	300	304	300	304	303	303
20	214	296	291	295	293	291	295	291	170	300	297	302	299	297	300	295	125	303	300	304	300	304	303	303
20	264	300	297	300	298	297	300	296	270	306	305	302	305	305	300	292	310	308	305	309	305	304	307	307
25	299	305	304	307	304	301	307	303	302	310	311	312	308	310	313	311	303	314	314	321	314	316	314	313
25	301	307	310	306	304	309	300	308	308	311	313	315	310	312	314	312	308	315	316	322	315	320	318	318
2	310	307	308	312	307	306	310	301	311	3115	314	315	310	312	315	312	315	316	322	315	322	315	320	318



ANEXO 6: HOJAS DE SEGURIDAD DE FLOCULANTE

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

 PRODUCTO
CHEMLOK 2010

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO : **CHEMLOK 2010**
Floculante para aplicación en minería.

IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA : **QUIMTIA S.A.**
Calle Dean Valdivia 148 – Oficina 601
San Isidro
630-6500

TELEFONOS DE EMERGENCIA : 630-6500 anexo 3503

CLASIFICACIÓN NFPA 704M/HMIS
SALUD: 1/1 INFLAMABILIDAD: 0/0 REACTIVIDAD: 0/0 OTROS:
0 = Insignificante 1 = Leve 2 = Moderado 3 = Alto 4 = Extremo

2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

NOMBRE QUÍMICO	NÚMERO CAS
Poliacrilamida	9003-05-8

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Riesgo de resbalamiento en contacto con agua.

VIAS PRIMARIAS DE EXPOSICIÓN:
Vías respiratorias, Ojos, Piel

PELIGROS INMEDIATOS PARA LA SALUD HUMANA:

CONTACTO CON LOS OJOS:
Puede causar lesiones oculares graves.

CONTACTO CON LA PIEL:
Puede causar irritación en caso de contacto prolongado.

INGESTIÓN:
Nocivo. Consulte al médico.

INHALACIÓN:
La inhalación de polvo puede provocar irritación leve de vías respiratorias.

QUIMTIA S.A. – Dean Valdivia 148 – Of. 601 – San Isidro – Lima

1 / 5



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

CHEMLOK 2010

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

CONTACTO CON LOS OJOS:

Lavar el área afectada con abundante agua por 15 minutos con los párpados abiertos. Si los síntomas persisten, llamar a un médico.

CONTACTO CON LA PIEL:

Lavar con abundante agua.

INGESTIÓN:

Solicitar atención médica

INHALACIÓN:

Liévelo al aire fresco, reposar, y tratar sintomáticamente. Si los síntomas persisten, llamar a un médico.

5. MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO

MEDIOS DE EXTINCIÓN APROPIADOS

Procedimiento habitual para incendios con productos químicos.

Riesgos de exposición especiales, por encima de los 300° puede liberar humos peligrosos: hidrógeno, amoníaco, óxidos de carbono.

Los derrames de producto en contacto con agua pueden crear superficies sumamente resbaladizas.

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL ESPECIAL:

Utilizar equipo de respiración autónomo y traje de protección.

6. MEDIDAS PARA CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

PROTECCIÓN PERSONAL

Utilizar equipo de protección personal.

PRECAUCIONES AMBIENTALES

No debe ser liberado al medio ambiente.

MÉTODOS DE LIMPIEZA

Absorber mecánicamente. Lavar pequeñas cantidades remanentes con abundante agua hacia el drenaje para su posterior tratamiento como efluente. El agregado de sal (cloruro de sodio) hace que sea más efectivo el lavado.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

MANIPULACIÓN

Utilizar solamente en áreas que cuenten con ventilación de escape adecuada. Evitar la acumulación de polvos. Utilizar equipo de protección personal. Absorber mecánicamente para evitar el riesgo de resbalamiento.

ALMACENAMIENTO

Mantener herméticamente cerrado y en un lugar fresco y seco libre de humedad.

QUIMTIA S.A. – Dean Valdivia 148 – Of. 601 – San Isidro – Lima

2 / 5



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

CHEMLOK 2010

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Proveer ventilación adecuada en sitios donde se genere polvo. En caso de ventilación insuficiente, utilizar equipo de respiración adecuado.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

TLV = 10 mg/m

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

MEDIDAS DE HIGIENE

Manipular de acuerdo con las prácticas recomendadas de higiene y seguridad industrial.

PROTECCIÓN RESPIRATORIA:

Máscara de media cara con filtro para partículas P2.

PROTECCIÓN DE LAS MANOS

Guantes de protección (PVC, neopreno, caucho butílico).

PROTECCIÓN DE LOS OJOS

Gafas de seguridad de ajuste correcto. Envase con agua pura para lavado ocular.

PROTECCIÓN DE LA PIEL Y EL CUERPO

Traje de protección lavado entre usos o descartable.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

ESTADO FÍSICO:	Polvo
ASPECTO:	color blanco
OLOR:	Inodoro
PH:	6.0 – 9.0 en solución al 0,5%
PRESIÓN DE VAPOR:	No corresponde
PUNTO DE EBULLICIÓN:	No corresponde
TEMPERATURA DE DESCOMPOSICIÓN:	> 200°C.
PESO ESPECÍFICO/DENSIDAD:	N/A
SOLUBILIDAD:	Soluble en agua, limitada por viscosidad.

QUIMTIA S.A. – Dean Valdivia 148 – Of. 601 – San Isidro – Lima

3 / 5



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

CHEMLOK 2010

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE: Humedad.

MATERIALES QUE DEBEN EVITARSE: Agentes oxidantes, metales: hierro y cobre.

PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN

PELIGROSOS: La descomposición por calor puede producir la liberación de NH₃, H₂, CO_x.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

TOXICIDAD AGUDA Chemlok 2010: No hay información disponible.
Productos similares (estimación): LD₅₀/ratas/oral > 5000 mg/kg

IRRITACIÓN Y CORROSIÓN Puede provocar irritación leve en ojos, en el sistema respiratorio y en la piel.

SENSIBILIZACIÓN No hay información disponible.

TOXICIDAD SUBAGUDA, SUBCRÓNICA Y PROLONGADA No existen evidencias de efectos carcinógenos del polímero.

EXPERIENCIA EN HUMANOS Puede provocar irritación leve.

INFORMACIÓN ADICIONAL No existen evidencias de efectos mutagénicos del polímero.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

PERSISTENCIA Y DEGRADABILIDAD Dada su alta polimerización, la biodegradación de este tipo de productos es lenta.

POTENCIAL DE BIOACUMULACIÓN No hay información disponible.

MOBILIDAD No hay información disponible.

TOXICIDAD EN PECES LC₅₀/96h/Danio rerio > 1000 mg/l (OECD 203)

TOXICIDAD EN DAPHNIA EC₅₀/48h/Daphnia magna > 100 mg/l (OECD 202)

TOXICIDAD EN ALGAS IC₅₀/72h/Scenedesmus subspicatus > 100 mg/l (OECD 201)

INFORMACIÓN ADICIONAL En pequeñas cantidades: Las soluciones diluidas preparadas para su empleo no se deben considerar peligrosas para el agua debido a las propiedades específicas del producto (alto grado de sustantividad, floculación con lodos de digestión).

QUIMTIA S.A. – Dean Valdivia 148 – Of. 601 – San Isidro – Lima

4 / 5



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO

CHEMLOK 2010

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

QUINTIA S.A. considera apropiado el reciclaje, recuperación y reutilización de los materiales en los casos que esté permitido. Si es necesaria su eliminación, QUINTIA S.A. recomienda que los materiales orgánicos, especialmente cuando están clasificados como desechos peligrosos, sean eliminados mediante tratamiento térmico o incineración en instalaciones aprobadas. Deberán respetarse todas las normativas locales y nacionales.

14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

TRANSPORTE TERRESTRE SEGÚN ADR/RID

No se clasifica como sustancia peligrosa según estas normativas de transporte.

TRANSPORTE MARÍTIMO SEGÚN IMDG

No se clasifica como sustancia peligrosa según estas normativas de transporte.

TRANSPORTE AÉREO SEGÚN ICAO/IATA

No se clasifica como sustancia peligrosa según estas normativas de transporte.

15. REGULACIÓN DE USO

ETIQUETADO

PICTOGRAMA: Ninguno

FRASES DE RIESGO: Ninguna

FRASES DE SEGURIDAD: Ninguna

16. OTRA INFORMACIÓN

Esta hoja de datos de seguridad proporciona información de salud y seguridad. El producto debe ser usado en aplicaciones consistentes con nuestra bibliografía del producto. Los individuos que manejen este producto, deben ser informados de las precauciones de seguridad recomendadas y deben tener acceso a esta información. Para cualquier otro uso, se debe evaluar la exposición de forma tal que se puedan implementar prácticas apropiadas de manipulación y programas de entrenamiento para asegurar operaciones seguras en el lugar de trabajo. Consulte a su representante local de ventas para más información.

Preparado por : Departamento de Seguridad de Productos
Fecha : 02-02-2018

QUINTIA S.A. – Dean Valdivia 148 – Of. 601 – San Isidro – Lima

5 / 5

ANEXO 7: HOJAS DE SEGURIDAD DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

Generated by Foxit PDF Creator © Foxit Software
http://www.foxitsoftware.com For evaluation only.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

HDS-02 Fecha de Revisión: Enero del 2012

Sección I: Identificación del Producto

Nombre: HIDROXIDO DE CALCIO

NOMBRE QUIMICO - COMERCIAL O SINONIMOS	CODIGO PRODUCTO	
Hidróxido Cálcico, Di hidróxido Calcio Cal hidratada o apagada, o caústica	PROVEEDOR	CEMENTO SUR S.A
	TELEFONO (8) DE EMERGENCIA	Juliaca (051) 328545 - 328544 AQP: 054-225000 - 222525 - 495060

Sección II: Composición / Ingredientes

NATURALEZA QUIMICA	HIDRÓXIDO CÁLCICO Ca(OH) ₂				
	Límites permisibles de exposición				
COMPONENTES DE RIESGO	N° U. N	N° CAS	OSHA	NIOSH	ACGIH
Hidróxido Cálcico	1923	1305-62-0	15 mg/m ³	5 mg/m ³	5 mg/m ³
Cuarzo, sílice cristalina		14808-60-7	10 mg/m ³	10 mg/m ³	5 mg/m ³

OSHA: es la Administración de Salud y Seguridad Ocupacionales, que adopta y hace cumplir las normas de salud y seguridad.
NIOSH: es el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad ocupacionales. Examina equipos, evalúa y aprueba los respiradores, realiza estudios sobre los peligros en el trabajo.
ACGIH: es la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales. Recomienda el valor umbral límite de exposición (TLV) a sustancias químicas en el trabajo.

Sección III: Datos Químicos y Físicos

Peso Molecular	: 74.10
Punto de Ebullición	: 2850 °C. (descomposición)
Punto de Fusión	: 550 °C. (descomposición)
Valor de pH	: 12.6 (solución saturada)
Densidad	: 0.74 g / ml a 20 °C
Densidad (material Suelto)	: 0.6 g/ ml
Solubilidad en agua	: 1.7 g / l a 20 °C
Aspecto y Olor	: Polvo blanco, Inodoro
Granulometría	: Menor a 75 µm en 95% aproximado

Sección IV: Datos de peligro por incendio o Explosión

Punto de Inflamación	: No inflamable * El Hidróxido cálcico no es combustible ni explosivo.
Límite Inflamable y Explosivo	: No aplicable
Medio Extintor	: No aplicable
Procedimientos especiales para combatir el incendio:	El hidróxido de calcio no es combustible.
Cuidado:	Las soluciones de Hidróxido Cálcico saturadas con agua pueden tener un pH de 12.6 a 20 °C
Medios para combatir incendio circundante:	En caso de incendio en el entorno, están permitidos todos los agentes Extintores.
Peligros No Usuales de incendio o explosión:	La Cal hidratada no representa ningún peligro asociado con incendio.

Sección V: Datos sobre Peligros a la Salud

El Hidróxido cálcico puede contener cuarzo por arriba del 0.1%. La exposición por inhalación de material particulado de sílice que excedan los límites de exposición, derivaría en neumoconiosis, exposición continuada progresivamente deriva en silicosis el mayor riesgo es su naturaleza corrosiva en ojos y en epitelio de vías respiratorias. Síntomas pueden aparecer aún tiempo después

de que haya terminado la exposición. Estos síntomas pueden incluir respiración corta, dificultad para respirar, tos, disminución de la capacidad de trabajo, reducción del volumen pulmonar y crecimiento y/o falla del lado derecho del corazón. Método más usual confiable para detectar la silicosis es por medio de rayos-x del tórax. La silicosis puede agravar otras condiciones pulmonares crónicas y puede aumentar el riesgo de una infección de tuberculosis pulmonar. Fumar es un pre-disponente y agrava los efectos de la exposición a sílice.

Ruta (s) de entrada : Inhalación; piel, ojos, ingestión.		CORROSIVO	AL CALINO
SOBRE EXPOSICIÓN	AGUDA	CRÓNICA	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	La inhalación genera sensación de quemazón en la garganta y vías respiratorias superiores.	Irritación bronquial con los crónicos común, la sobre-exposición continua deriva en síncosis o asma pulmonar.	Retiro de la exposición, traslado inmediatamente al aire fresco. Solicite asistencia Médica.
CONTACTO PIEL	Durante un prolongado contacto con la piel, la sustancia puede penetrar gradualmente en la piel desprotegida produciendo enrojecimiento, aspereza, sensación de quemazón.	Una dermatitis crónica puede resultar por el contacto repetido.	Quite inmediatamente la ropa y el calzado contaminados. Lave el área afectada con jabón y agua, o con un detergente suave con grandes cantidades de agua hasta que no quede rastro alguno del químico (aprox. de 10 a 20 minutos). En caso de quemadura cubra el área afectada con gasa esterilizada. Recurra a intervención Médica.
CONTACTO OJOS	El contacto directo con el sólido o con soluciones acuosas puede causar un edema conjuntival y destrucción de la córnea, lo cual puede llegar a causar ceguera.	Contacto prolongado puede causar Conjuntivitis, quemaduras y ceguera. Exposición ocular requiere PPA y atención médica.	Lave los ojos inmediatamente con grandes cantidades de agua, levantando ocasionalmente las párpados superior e inferior, hasta que no quede rastro alguno de partículas (aprox. De 15 a 20 minutos). Atención Médica.
INGESTIÓN	Si es contaminación por ingestión consulte un médico inmediatamente.		

Sección VI : Datos de Reactividad

ESTABILIDAD	Cal Hidratada: Reacciona gradualmente con el bióxido de carbono en el aire para formar carbonato de calcio.
POLIMERIZACIÓN peligrosa	No va a ocurrir.
Descomposición peligrosa	La sustancia se descompone calentando a 550 °C y produce óxido de calcio.

Sección VII : Precauciones para su Manejo y Uso Seguro

Soluciones saturadas de hidróxido de calcio pueden tener un pH de 12 -12.6 a temperaturas a 20°C
Son corrosivas y muy dañinas para los ojos y la piel desprotegidos.
Deberán usarse guantes herméticos, botas y equipos personales de protección (EPP) para evitar contacto con la piel y los ojos

PROTECCIÓN	
RESPIRATORIA	Potencial de exposición por encima de 5 mg/m ³ , en 8 o más hs. / jornada, use un respirador con pieza Facial de cara completa (filtro de partículas de alta eficiencia aprobado por NIOSH) o línea de aire.
MANOS	Utilizar guantes de PVC o Neoprene, ajustables para impedir migración de partículas al interior.
OJOS	Utilizar gafas herméticas y escudo de protección de la cara, marco de goma o mejor aún máscara de cara completa.
VESTIMENTA	Evite el contacto de la piel con el hidróxido de calcio, use ropa de protección (trajes, calzado, gorros) limpias
MANEJO	Use obligatoriamente el equipo de protección como se describe en descripción anterior.
ALMACENAJE	Mantener seca el área de almacenamiento y de preferencia envasado en bolsas bien cerradas o en silos herméticos Temperatura de almacenamiento sin limitaciones No emplear recipientes de metales ligeros.

PASOS A TOMAR EN CASO DE QUE EL MATERIAL SE ESCAPE O DERRAME

Si se derrama o hay escape de hidróxido de calcio, tome las medidas siguientes:

1. Evacue a toda persona que no lleve un equipo protector, cercar el área de derrame o escape, hasta que se complete la limpieza
2. Recoja el material en polvo de la manera más conveniente y segura, deposite en recipientes cerrados.
3. Quizás sea necesario re-ensavar y deshacerse del Hidróxido cálcico como desecho, coordine con área responsable de residuos.
4. Si son los empleados quienes deben limpiar los derrames, deben estar entrenados y equipados adecuadamente.

No toque el material derramado, sin EPP correspondiente. Detenga la fuga si es posible hacerlo sin riesgo.
En el caso de derrames menores, levante el derrame con un recogedor y colóquelo dentro de un contenedor para disposición posterior. Derrames con contaminación de producto, envasar por separado producto no contaminado.
Para derrames grandes, coloque diques de contención adelante del derrame.
Dispóngase de acuerdo con todos los dispositivos normados locales, estatales y policiales.
No olvidar que la CAL HIDRATADA es un producto controlado, por tanto la información de pérdida o merma es importante.
Los derrames no deberán ser limpiados con agua que fluya hacia aguas superficiales o drenajes.

Sección VIII: Medidas de Control

VENTILACIÓN	Todos los procesos que originen emisión particulada de Cal hidratada incluyendo vapores, deberán ser objeto de ambientes con encerramiento; usar ventilación de extracción local.
EPP	Para exposiciones cortas USE un respirador con capacidad para filtrar polvo aprobado por NIOSH. A más de 5 mg/m ³ , de exposición de 8 o más horas por jornada, es imprescindible el uso de respirador. Con pieza facial de cara completa y preferentemente línea de suministro neumático de aire purificado. Dotar de ropa tipo mono con ajuste de elástico y cierre, que adapte hermeticidad con la pieza facial completa.
PRÁCTICAS DE TRABAJO HIGIENICAS	Inmediatamente después de trabajar con hidróxido cálcico, los trabajadores deberán bañarse. Lavado ocular en lavaojos. Siga las precauciones apropiadas listadas, durante el mantenimiento y/o reparación de equipo contaminado. Disponer de Ducha y lavaojos en área de operación.

Sección IX: INFORMACIÓN ADICIONAL

ABREVIATURA	SIGNIFICADO	ABREVIATURA	SIGNIFICADO
>	Más de	NA	No aplica
ACGIH	Conferencia Americana de Higienistas industriales Gubernamentales	PEL	Límite de exposición permisible
N° de CASH	Número de Servicio de Compendio Químico	EPP	Equipo de protección personal
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra incendios	HMS	Sistema de identificación del peligro
NIOSH	Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacionales	mg / m ³	Miligramos por metro cúbico
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales	TWA	Promedio ponderado de tiempo



ANEXO 8: RESULTADOS DE SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN DE LABORATORIO QUÍMICO



LABORATORIO DE ENSAYO

**BUREAU
VERITAS**

Inspectorate Services Perú S.A.C.
RUC: 20385739771
Av. Elmer Faucett N° 444, Prov. Const. del Callao, Perú

Informe de Ensayo N° ME-AGUA_SR20220017

INFORMACIÓN DEL CLIENTE	
MINSUR S.A.	
Bernini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	
U. M. San Rafael - Juliaca.	
INFORMACIÓN DEL CERTIFICADO	
Número de Orden de Trabajo	ME-AGUA_SR20220017
Fecha de Reporte	4/06/2022
Material	Muestra de Agua
Fecha de muestreo	3/06/2022
Numero de Muestras	11
Instrucciones de ensayo	Análisis Químico
Presentación de las Muestras	En Frasco
Procedencia de las Muestras	EFLUENTES
Fecha de Recibido	3/06/2022
Fecha de Inicio de Análisis	3/06/2022
Referencia Cliente:	LAB-AGUA-22-017
INFORMACIÓN DE LOS MÉTODOS	
CODIGO DEL MÉTODO	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
ISP-616	DETERMINACION DE PARAMETROS FÍSICOS
ISP-615	DETERMINACION DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA
ISP-617	DETERMINACION DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

COMENTARIOS	
* Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA.	
Los resultados de ensayo solo son validos para las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras ha sido tomadas Inspectorate Services Perú S.A.C. no acepta la responsabilidad por las muestras dejadas en el laboratorio después de 90 días sin instrucciones escritas previas, para el almacenamiento o devolución de la muestra Material, Cliente, Nave, Unidad, Ref Lot, sellos de las muestras y procedencia de las muestras, es información proporcionada por el cliente. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.	
Umpire assay: Au	
Party assays: Cu, Ag	

Numero de Certificado	ME-AGUA_SR20220017
Fecha de Reporte	4/06/2022
Material	Muestra de Agua

		MÉTODO	-	ISP-616	ISP-616	ISP-616	ISP-617	ISP-615
		ANALITO	T	pH	Con	Tss	Fe	Fe
		PESO/UNIDAD	*C		us/cm	ppm	ppm	ppm
ID CLIENTE	Estado de la Muestra	LIMITE DE CUANTIFICACION	-	-	-	-	0.03	0.201
Lab A 22-035	Analizada	-	11.5	9.3	1340.0	42	<0.03	3.808
Lab A 22-036	Analizada	-	10.2	9.4	1343.0	45	<0.03	3.238
Lab A 22-037	Analizada	-	10.5	9.5	1345.0	19	<0.03	1.813
Lab A 22-038	Analizada	-	10.8	9.5	1344.0	25	<0.03	2.002

Todos los servicios se prestan de acuerdo con los Términos y Condiciones Generales de Contratación de la Inspección, disponibles a pedido o en http://www.bureauveritas.com/wps/wcm/connect/bv_com/group/home/about-us/care-business/commodities



Inspectorate Services Perú S.A.C.
RUC: 20385739771
Av. Elmer Faucett N° 444, Prov. Const. del Callao, Perú

LABORATORIO DE ENSAYO

Informe de Ensayo N° ME-AGUA_SR20220017

Lab A 22-039	Analizada	-	10.6	10.5	1401.0	21	<0.03	2.152
Lab A 22-040	Analizada	-	10.8	10.4	1396.0	35	<0.03	3.115
Lab A 22-041	Analizada	-	11.0	10.5	1397.0	12	<0.03	1.050
Lab A 22-042	Analizada	-	11.1	10.5	1399.0	10	<0.03	1.004
Lab A 22-043	Analizada	-	10.8	9.8	1380.0	27	<0.03	1.280
Lab A 22-044	Analizada	-	10.6	9.8	1380.0	28	<0.03	2.567
Lab A 22-045	Analizada	-	10.4	9.8	1383.0	23	<0.03	1.941

ID CLIENTE	Estado de la Muestra	LIMITE DE CUANTIFICACION	METODO	ISP-615	ISP-615	ISP-615	ISP-615	ISP-615	ISP-615
			ANALITO	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Mn-D
		PESO/UNIDAD	ppm						
Lab A 22-035	Analizada	-	0.020	0.021	0.154	0.049	0.015	0.02	
Lab A 22-036	Analizada	-	0.080	0.072	<0.154	0.072	<0.015	0.027	
Lab A 22-037	Analizada	-	0.073	0.070	<0.154	0.075	<0.015	0.031	
Lab A 22-037	Analizada	-	0.055	0.049	<0.154	<0.049	<0.015	0.028	
Lab A 22-038	Analizada	-	0.060	0.049	<0.154	<0.049	<0.015	0.027	
Lab A 22-039	Analizada	-	0.035	0.052	<0.154	0.053	<0.015	<0.02	
Lab A 22-040	Analizada	-	0.047	0.065	<0.154	0.066	<0.015	<0.02	
Lab A 22-041	Analizada	-	0.021	0.036	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02	
Lab A 22-042	Analizada	-	0.023	0.035	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02	
Lab A 22-043	Analizada	-	0.028	0.034	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02	
Lab A 22-044	Analizada	-	0.043	0.053	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02	
Lab A 22-045	Analizada	-	0.038	0.045	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02	

		Temp. °C	pH	Tss	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM-Dométicas	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*)-Minero-Cualquier momento		(6-9)	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**)-Minero-Promedio Anual		(6-9)	25	1.6	0.4	0.16	1.2	0.04

Luis Paitan D.
Residente
CIP:224752

Todos los servicios se prestan de acuerdo con los Términos y Condiciones Generales de Contratación de la Inspección, disponibles a pedido o en http://www.bureauveritas.com/wps/wcm/connect/bv_com/group/home/about-us/our-business/commodities/a



BUREAU
VERITAS

Inspectorate Services Perú S.A.C.
RUC: 20385739771
Av. Elmer Faucett N° 444, Prov. Const. del Callao, Perú

LABORATORIO DE ENSAYO

Informe de Ensayo N° ME-AGUA_SR20220018

INFORMACIÓN DEL CLIENTE	
MINSUR S.A.	
Bemini 149, Of. 501A San Borja, Lima 41, Perú	
U. M. San Rafael - Juliaca.	
INFORMACIÓN DEL CERTIFICADO	
Número de Orden de Trabajo	ME-AGUA_SR20220018
Fecha de Reporte	4/06/2022
Material	Muestra de Agua
Fecha de muestreo	3/06/2022
Número de Muestras	10
Instrucciones de ensayo	Análisis Químico
Presentación de las Muestras	En Frasco
Procedencia de las Muestras	EFLUENTES
Fecha de Recibido	3/06/2022
Fecha de Inicio de Análisis	3/06/2022
Referencia Cliente:	LAB-AGUA-22-018
INFORMACIÓN DE LOS MÉTODOS	
CODIGO DEL METODO	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
ISP-010	DETERMINACIÓN DE PARAMETROS FÍSICOS
ISP-015	DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA
ISP-017	DETERMINACIÓN DE METALES DISUELTOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA
COMENTARIOS	
* Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA	
Los resultados de ensayo solo son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras ha sido tomadas Inspectorate Services Perú S.A.C. no acepta la responsabilidad por las muestras dejadas en el laboratorio después de 90 días sin instrucciones escritas previas, para el almacenamiento o devolución de la muestra Material, Cliente, Nave, Unidad, Ref Lot, sellos de las muestras y procedencia de las muestras, es información proporcionada por el cliente. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.	
Umpire assay: Au	
Party assays: Cu, Ag	

Numero de Certificado	ME-AGUA_SR20220018
Fecha de Reporte	4/06/2022
Material	Muestra de Agua

ID CLIENTE	Estado de la Muestra	MÉTODO	ANÁLITO					
			T	pH	Con	Tss	Fe	Fe
		PESO/UNIDAD	°C	us/cm	ppm	ppm	ppm	
		LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	-	-	-	0.03	0.201	
Lab A 22-046	Analizada	-	11.1	9.0	1362.0	40	<0.03	3.743
Lab A 22-047	Analizada	-	10.4	9.6	1358.0	40	<0.03	3.329
Lab A 22-048	Analizada	-	10.0	9.7	1358.0	19	<0.03	1.583
Lab A 22-049	Analizada	-	10.0	9.7	1355.0	23	<0.03	2.210

Todos los servicios se prestan de acuerdo con los Términos y Condiciones Generales de Contratación de la Inspección, disponibles a pedido o en http://www.bureauveritas.com/wps/wcm/connect/bv_com/group/home/about-us/our-business/commodities



BUREAU
VERITAS

Inspectorate Services Perú S.A.C.
RUC: 20385730771

Av. Elmer Faucett N° 444, Prov. Const. del Callao, Perú

LABORATORIO DE ENSAYO

Informe de Ensayo N° ME-AGUA_SR20220018

Lab A 22-050	Analizada	-	10.1	10.8	1439.0	24	<0.03	2.580
Lab A 22-051	Analizada	-	10.3	10.8	1443.0	33	<0.03	1.916
Lab A 22-052	Analizada	-	10.8	10.8	1438.0	11	<0.03	1.091
Lab A 22-053	Analizada	-	11.4	10.7	1417.0	21	<0.03	1.650
Lab A 22-054	Analizada	-	11.7	10.3	788.3	16	<0.03	1.582
Lab A 22-055	Analizada	-	10.3	10.4	833.7	19	<0.03	1.626

ID CLIENTE	Estado de la Muestra	MÉTODO	MÉTODO					
			ISP-015	ISP-015	ISP-015	ISP-015	ISP-015	ISP-015
		ANALITO	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Mn-D
		PESO/UNIDAD	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		LÍMITE DE CUANTIFICACION	0.020	0.021	0.154	0.049	0.015	0.02
Lab A 22-040	Analizada	-	0.061	0.065	<0.154	0.053	<0.015	<0.02
Lab A 22-047	Analizada	-	0.067	0.064	<0.154	0.051	<0.015	<0.02
Lab A 22-048	Analizada	-	0.033	0.039	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02
Lab A 22-049	Analizada	-	0.043	0.047	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02
Lab A 22-050	Analizada	-	0.038	0.060	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02
Lab A 22-051	Analizada	-	0.030	0.049	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02
Lab A 22-052	Analizada	-	0.021	0.043	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02
Lab A 22-053	Analizada	-	0.028	0.048	<0.154	<0.049	<0.015	<0.02
Lab A 22-054	Analizada	-	0.023	0.033	<0.154	0.071	<0.015	<0.02
Lab A 22-055	Analizada	-	0.027	0.040	<0.154	0.085	<0.015	<0.02

		Temp. °C	pH	Tss	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
LMP	DS 003-2010-MINAM-Domésticos	<35	6.5-8.5	150	-	-	-	-	-
LMP	DS 010-2010-MINAM (*)-Minero-Cualquier momento		(6-9)	50	2	0.5	0.2	1.5	0.05
LMP	DS 010-2010-MINAM (**)-Minero-Promedio Anual		(6-9)	25	1.8	0.4	0.16	1.2	0.04

Luis Paitan D.
Residente
CIP:224752

Todos los servicios se prestan de acuerdo con los Términos y Condiciones Generales de Contratación de la Inspección, disponibles a pedido o en <http://www.bureauveritas.com/lpa/wem/connect/bv.com/group/home/about-us/our-business/commodities/>



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Edwin Kevin Pari Chavez
identificado con DNI 70354285 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Metalúrgica

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

Título Profesional denominado:

« Estudio comparativo de tratamiento de relaves entre los floculantes CHEMLOCK versus

AR-93900 para mejorar la calidad de agua en la empresa minera San Rafael-MINSUR-PUNO

” Es un tema original.

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

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como 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 27 de Octubre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Edwin Kevin Pari Chavez

, identificado con DNI 70354285 en mi condición de egresado de:

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

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

“ Estudio comparativo de tratamiento de relaves entre los floculantes CHEMLOCK versus AR-93900 para mejorar la calidad de agua en la empresa minera San Rafael-MINSUR-PUNO

” 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 27 de Octubre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella