

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**“TRATAMIENTO Y SEDIMENTACIÓN DE LA TURBIDEZ CON CAL EN LAS  
AGUAS RESIDUALES DE LOS RELAVES MINEROS DE LA UNIDAD  
OPERATIVA MINERA SANTIAGO - B”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. RONAL TEJADA MAYTA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PROMOCIÓN: 2014 - I**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

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



**TESIS**

**“TRATAMIENTO Y SEDIMENTACIÓN DE LA TURBIDEZ CON CAL EN LAS  
AGUAS RESIDUALES DE LOS RELAVES MINEROS DE LA UNIDAD  
OPERATIVA MINERA SANTIAGO - B”**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. RONAL TEJADA MAYTA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22-06-2017**

**APROBADA POR LOS JURADOS:**

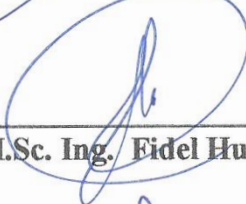
**Presidente**

:

  
M.Sc. Ing. Esteban Marín Paucara


**Primer Miembro**

:

  
M.Sc. Ing. Fidel Huisa Mamani

**Segundo Miembro**

:

  
M.Sc. Ing. Lucio Quea Gutiérrez

**Director/Asesor de Tesis**

:

  
M.Sc. Ing. Mario Serafin Cuentas Alvarado

**ÁREA: Ingeniería de Minas.**

**TEMA: Monitoreo y evaluación del impacto ambiental en minería.**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación con profundo respeto, amor y eterna gratitud:

A mis queridos hijos Diago y Seynep y a mí amada Mary quienes son el motor e inspiración de esta tesis.

A mis queridos padres Jesús y Tomasa como también a mis hermanos(as) quienes son los que me orientaron y apoyaron incondicionalmente en todo momento.

Tejada Mayta, Ronal.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por concederme salud, bendición, protección, sabiduría y fortaleza para poder cumplir con esta meta de ser Ingeniero de Minas.

A la Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano Puno, a todos los docentes quienes me brindaron sus valiosos conocimientos, experiencias durante mi formación profesional.

Al Director de tesis, M.Sc. Mario Serafín Cuentas Alvarado y a todos los miembros del jurado de la presente tesis; por las oportunas correcciones y recomendaciones que contribuyeron a mejorar el contenido de la tesis.

Al Ing. Miguel Ángel Hermosa Aguirre, Gerente de Seguridad y Salud Ocupacional Minera y Medio Ambiente de Proyecto Minero Estela - CECOMSAP, así mismo a la Cooperativa Minera Santiago Ltda. y a todos los integrantes de la Unidad Operativa Minera Santiago - B, por permitirme realizar la presente tesis de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTOS .....	4
ÍNDICE GENERAL .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
ACRÓNIMOS .....	11
RESUMEN .....	12
ABSTRACT.....	13

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema .....	14
1.2. Definición del problema .....	15
1.3. Justificación del problema .....	16
1.4. Objetivos de la investigación.....	17
1.4.1. Objetivo general .....	17
1.4.2. Objetivos específicos .....	17

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1. Antecedentes históricos .....	18
2.1.2. Antecedentes técnicos.....	19
2.2. Sustento teórico .....	21
2.2.1. El agua en la industria minera .....	21
2.2.2. Etapas del tratamiento físico - químico .....	23

2.2.3.	Sedimentación .....	27
2.2.4.	Turbidez.....	30
2.2.5.	Sólidos totales en suspensión (SST).....	31
2.2.6.	Sedimentación según el tipo de partículas.....	31
2.2.7.	Cal.....	32
2.3.	Glosario de términos básicos .....	35
2.4.	Hipótesis .....	37
2.4.1.	Hipótesis general .....	37
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	37
2.5.	Operacionalización de variables .....	37
2.5.1.	Variable independiente (Vi) .....	37
2.5.2.	Variable dependiente (Vd).....	38
2.5.3.	Variable interviniente (Vint) .....	38

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Tipo y diseño de investigación .....	39
3.1.1.	Tipo de investigación.....	39
3.1.2.	Diseño de investigación.....	39
3.2.	Población y muestra de investigación .....	40
3.2.1.	Población .....	40
3.2.2.	Muestra .....	40
3.3.	Ubicación y descripción de la población.....	40
3.3.1.	Ubicación política.....	40
3.3.2.	Ubicación geográfica .....	41
3.3.3.	Accesibilidad .....	41
3.3.4.	Precipitación fluvial.....	41
3.3.5.	Temperatura .....	42
3.3.6.	Hidrología.....	42
3.3.7.	Flora y fauna.....	43

3.3.8.	Fisiografía y geomorfología .....	44
3.3.9.	Geología.....	44
3.3.10.	Operaciones unitarias .....	45
3.3.11.	Proceso metalúrgico .....	47
3.4.	Materiales, equipos y reactivos experimentales .....	49
3.4.1.	Materiales .....	49
3.4.2.	Equipos .....	50
3.4.3.	Reactivos .....	50
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	50
3.6.	Procedimiento de experimento .....	50
3.6.1.	Ubicación de punto de muestreo .....	50
3.6.2.	Cronograma de toma de muestra .....	51
3.6.3.	Procedimiento de toma de muestra.....	51
3.6.4.	Pre tratamiento de muestra .....	52
3.6.5.	Desarrollo experimental por coagulación – floculación.....	52
3.6.6.	Procedimiento general .....	53
3.7.	Plan de tratamiento de los datos .....	54
3.7.1.	Método de análisis .....	54
3.8.	Diseño de tratamiento para la prueba de hipótesis .....	54

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Propiedades del agua residual.....	55
4.1.1.	Propiedades físicas del agua residual .....	55
4.1.2.	Propiedades químicas del agua residual .....	55
4.2.	Consideraciones preliminares para prueba experimental .....	56
4.2.1.	Determinación de porcentaje de la pureza de CaO.....	56
4.2.2.	Determinación de velocidad de agitación para coagulación y floculación.....	56
4.2.3.	Determinación de tiempo de agitación para coagulación y floculación .....	57
4.2.4.	Determinación de porcentaje óptimo de lechada de cal (Ca(OH) <sub>2</sub> ) .....	57

4.3.	Determinación de porcentaje de agua esclarecida mediante sedimentación .....	59
4.3.1.	Determinación de agua esclarecida por sedimentación en probetas.....	60
4.3.2.	Determinación de agua esclarecida por sedimentación en vasos precipitados.....	62
4.4.	Determinación de la dosis óptima de CaO en ml/l y g/l.....	64
4.4.1.	Determinación de la dosis mediante turbidez.....	64
4.4.2.	Determinación de la dosis mediante SST .....	66
4.4.3.	Determinación de la dosis mediante pH .....	68
4.4.4.	La evaluación de la dosis óptima.....	70
4.5.	Determinación de remoción de turbidez, SST y pH utilizando CaO.....	70
4.5.1.	Remoción de la turbidez utilizando CaO para una dosis óptima.....	71
4.5.2.	Remoción de SST utilizando CaO para una dosis óptima.....	72
4.5.3.	Remoción de pH utilizando CaO para una dosis óptima.....	74
4.5.4.	Evaluación de remoción de turbidez, SST y pH.....	75
4.6.	Evaluación de eficiencia del proceso de tratamiento.....	76
4.7.	Discusión del resultado.....	78
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>85</b>



**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1: Zonas de sedimentación en batch.....	28
Figura 3.1: Ciclo de operaciones .....	45
Figura 3.2: Diagrama características del calambuco o voladura coyote.....	46
Figura 4.1: Figura de porcentaje óptimo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , turbidez & tiempo .....	59
Figura 4.2: Determinación de % de agua esclarecida por probetas .....	61
Figura 4.3: Determinación de % de agua esclarecida en vasos precipitados.....	63
Figura 4.4: Figura de la dosis óptima en ml, turbidez & tiempo .....	65
Figura 4.5: Figura de la dosis óptima en ml, SST & tiempo .....	67
Figura 4.6: Figura de la dosis óptima en ml, pH & tiempo .....	69
Figura 4.7: Porcentaje de remoción de turbidez & dosis $\text{CaO}$ (g/l).....	72
Figura 4.9: Porcentaje de remoción de pH & dosis $\text{CaO}$ (g/l).....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Velocidad de sedimentación .....	29
Tabla 2.2: Factores de conversión entre unidades de turbidez .....	30
Tabla 2.3: Operacionalización de variables .....	38
Tabla 3.1: Coordenadas de UTM de la UOMS-B. ....	41
Tabla 3.2: Vías de acceso .....	41
Tabla 3.3: Detalle de pozas, volumen de agua y lodos.....	49
Tabla 3.4: Coordenadas UTM de los puntos de muestreo .....	51
Tabla 3.5: Cronograma de toma de muestra .....	51
Tabla 3.6: Métodos analíticos de turbidez, SST y pH .....	54
Tabla 4.1: Propiedades físicas del agua residual .....	55
Tabla 4.2: Propiedades químicas del agua residual .....	56
Tabla 4.3: Resultado de % óptimo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mediante la turbidez .....	58
Tabla 4.4: Resultado por ecuación lineal y $R^2$ de % óptimo $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .....	58
Tabla 4.5: Resultado de % de agua esclarecida al 5 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .....	60
Tabla 4.6: Resultado del % de agua esclarecida en probetas según $R^2$ .....	61
Tabla 4.7: Resultado de % de agua esclarecida con una dosis al 5 % .....	62
Tabla 4.8: Resultado del % de agua esclarecida en vasos precipitados según $R^2$ .....	63
Tabla 4.9: Resultado de turbidez al 5 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .....	64
Tabla 4.10: Resultado por ecuación lineal y $R^2$ de dosis mediante turbidez .....	64
Tabla 4.11: Resultado de SST al 5 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .....	66
Tabla 4.12: Resultado por ecuación lineal y $R^2$ de dosis mediante SST .....	66
Tabla 4.13: Resultado de pH al 5 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .....	68
Tabla 4.14: Resultado por ecuación lineal y $R^2$ de dosis mediante pH .....	69
Tabla 4.15: Resultados de dosis óptimo según la ecuación lineal y $R^2$ .....	70
Tabla 4.16: Resultado de % de remoción de turbidez .....	71
Tabla 4.17: Resultado de % de remoción de SST.....	73
Tabla 4.18: Resultado de % de remoción de pH.....	74
Tabla 4.19: Evaluación de % de remoción de turbidez, SST y pH.....	75
Tabla 4.20: Eficiencia de turbidez según D.S. N° 015-2015-MINAM.....	76
Tabla 4.21: Eficiencia de SST y pH según D.S. N° 010-2010-MINAM.....	77

## ACRÓNIMOS

C.E.	: Conductividad eléctrica
CECOMSAP	: Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto Ltda.
CMSA Ltda	: Cooperativa Minera Santiago de Ananea Ltda.
D.S.	: Decreto Supremo
FIM	: Facultad de Ingeniería de Minas
FIQ	: Facultad de Ingeniería de Química
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
IGAC	: Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo
IUPAC	: Unión Internacional de Química Pura y Aplicada.
<i>Jar-Test</i>	: Pruebas de jarra
LDS	: Lodos de baja densidad
MINAM	: Ministerio del Ambiente
NDS	: Neutralización coagulante dinámica
NTU	: Unidades Nefelométricas de Turbiedad
pH	: Potencial de hidrógeno
PSAD	: Datum Provisional Sudamericano
SST	: Sólidos totales en suspensión
STD	: Sólidos totales disueltos
SUNARP	: Superintendencia de Registros Públicos
UNAP	: Universidad Nacional del Altiplano – Puno
UOMS - B	: Unidad Operativa Minera Santiago - B
WGS84	: Sistema Geodésico Mundial 1984

## RESUMEN

La presente tesis titulada *tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la Unidad Operativa Minera Santiago - B*. Esta mina se ubica en el paraje Vizcachani – Ananea de la Concesión Minera Estela, la cual pertenece a la Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto Ltda. Donde el problema principal es la turbidez y la demora de la sedimentación de las aguas residuales relaves mineros, cuyo objetivo general es evaluar la sedimentación de sólidos totales en suspensión (SST) y reducir la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros, utilizando cal como coagulante - floculante en la Unidad Operativa Minera Santiago - B. Para obtener los datos de muestreo se ha utilizado equipos de monitoreo y evaluación ambiental de la FIM-UNAP, plantilla de apunte, envases de plástico, entre otros. El diseño de investigación es experimental, empleando el método de pruebas de jarras (*Jar-Test*) en el laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de la Ingeniería de Química - UNAP y en el laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas – UNAP. Se ejecutaron pruebas de sedimentación en probetas de 100 ml y en vasos precipitados de 1 litro, así mismo las pruebas de turbidez y sedimentación de SST; las pruebas experimentales se realizaron por cuatro fechas, donde el resultado de la turbidez inicial fue 81 900 NTU y SST fue 67 400 mg/l, y el resultado final para una unidad de tiempo de 60 minutos la turbidez es 19,39 NTU y SST final es 18,25 mg/l, donde la dosis optima de cal al 5 % es 0,3 g de cal por litro de agua residual, con una remoción de 99,976 % para turbidez y 99,973 % de remoción para SST.

**Palabras Claves:** Turbidez, sedimentación, cal, aguas residuales, relaves mineros.

## ABSTRACT

The present thesis entitled "treatment and sedimentation of turbidity with lime in the wastewater from mine tailings of the Santiago – B mine". This mine is located in Vizcachani - Ananea from Estela mining concession, which belongs to the "Central of San Antonio de Poto Ltda". The main problem is the turbidity and the delay in sedimentation of the wastewater mining tailings, it's main objective is to evaluate sedimentation of total suspended solids (TSS) and to reduce turbidity of wastewater in mine tailings, using lime as coagulant - flocculant in the mining operational of Santiago - B; To obtain the data sampling had been used the equipment of monitoring and environmental evaluation of the FIM-UNAP, template of note, plastic containers, among others. The research design is experimental, by jar test method (Jar-Test) in the laboratory of Quality Control of the Faculty of Chemical Engineering - UNAP and in the laboratory of Monitoring and Environmental Assessment of the Faculty of Mining Engineering – UNAP. Sedimentation tests were performed in 100 ml specimens and in 1 liter precipitated vessels, as well as turbidity and sedimentation tests of SST; the experimental tests were performed for four dates, where the initial turbidity result was 81 900 NTU and SST was 67 400 mg/l, and the final result for a unit time of 60 minutes turbidity is 19,39 NTU, SST Final is 18,25 mg/l, where the optimum 5 % lime dose is 0,3 g of lime per liter of wastewater, with a removal of 99,976 % for turbidity and 99,973 % removal for SST.

**Keywords:** Turbidity, sedimentation, lime, wastewater, mine tailings.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Descripción del problema

La Unidad Operativa Minera Santiago – B (UOMS - B) de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea Ltda. (CMSA Ltda.), ubicado en el paraje Vizcachani, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina de la región Puno, realiza actividades de minera aurífera con procesos gravimétricos hidráulicos. En los últimos años la creciente actividad minera en la región Puno, y principalmente el distrito de Ananea, no solo ha generado un importante beneficio económico y de desarrollo tecnológico, sino también ha generado el impacto ambiental negativo de los recursos hídricos.

El tratamiento metalúrgico se realiza mediante monitores hidráulicos que sirven para el lavado de la materia morrénico aurífero, a fin de liberar el oro del material estéril, en un plano inclinado (*chutes*) de lavado gravimétrico. Los materiales finos (arenas negras con oro) se depositan en los canales (*sluice*) metálicos donde en su base lleva el tendido de rifles para atrapar el oro, luego los materiales finos se depositan en los canales de madera los que en su base tienen un tendido de alfombras para atrapar el oro más fino (concentración gravimétrica artesanal) además el material disgregado continúa por un canal de empedrado para atrapar partículas más finas de oro que no son atrapadas por los rifles y alfombras. El circuito metalúrgico diseñado para este tipo de trabajo cuenta con pozas de relaves que cumplen la función de almacenar las partículas finas sedimentadas y clarificar las aguas residuales para su posterior re-uso a través de la re-circulación de aguas.

Las aguas residuales generadas por la UOMS - B; poseen una alta concentración de sólidos totales en suspensión, lo que genera la turbidez de las aguas residuales, estas aguas son recirculadas sin ningún tratamiento, constituyendo un importante problema ambiental. En las pozas de sedimentación, los sólidos totales en suspensión demoran bastante tiempo en sedimentar y disminuir la turbidez. A simple vista se nota que estas aguas presentan elevados índices de sólidos totales en suspensión y turbidez (NTU), causando el deterioro de la flora y fauna adyacente.

En algunos casos las cooperativas informales no cuentan con sistema de sedimentación, ni tratamiento de turbiedad de las aguas residuales de las pozas de relaves enviando directamente al río. En conclusión, el hombre suele aprovechar los recursos naturales para satisfacer sus necesidades, sin embargo, muchas veces los restos de su consumo no regresan al medio de la mejor manera.

## 1.2. Definición del problema

La alta concentración de sólidos totales en suspensión genera la turbidez de las aguas residuales, demora bastante tiempo en sedimentar y en la disminución de la turbidez; lo cual perjudica el reúso del agua residual y la recuperación del oro.

- Pregunta general

¿Cómo es el uso de la cal como coagulante - floculante para lograr la sedimentación de sólidos totales en suspensión y reducirlo la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B?

- Preguntas específicas

¿Cuál es la dosis óptima de la cal (CaO) para el tratamiento de turbidez y para la sedimentación de sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B?

¿Cuál es el porcentaje de la remoción de turbidez y de sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B?

### 1.3. Justificación del problema

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene un valor económico, social y ambiental. Cada ciudadano y empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, es necesario no solo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. La actividad minera de lavado del material de morrena aurífera genera efluentes con altas concentraciones de sólidos en suspensión y turbidez. El agua turbia de las pozas de relaves mineros demora bastante tiempo en esclarecerse sin el uso de coagulantes y floculantes. Además, las descargas de relaves generan impactos negativos de tipo ambiental y social a poblaciones ubicadas aguas abajo, haciendo que las aguas no sean aptas para consumo doméstico, ganadero y piscícola, por ello se hace necesaria la búsqueda de soluciones.

El proceso de tratamiento de aguas residuales, cada vez son de gran interés, importancia y preocupación para la sociedad de cómo solucionar para poder reutilizar el recurso hídrico que sufre alteraciones a consecuencia de las actividades antropogénicas y naturales desde fuentes puntuales y no puntuales; en el cual, el parámetro físico-químico de sólidos totales en suspensión (SST) y turbiedad (NTU) son primordial en su tratamiento, ya que en estos componentes se encuentra la materia orgánica e inorgánica; por otro lado, el consumo de agua es mayor cada día y de gran envergadura frente a la necesidad de su consumo del hombre y de otros seres vivos. En tanto, el tratamiento de aguas residuales es de prioridad y de vital importancia para la sociedad disminuir la turbidez y sedimentar las partículas en suspensión de las aguas residuales.

El proceso primario de tratamiento de aguas es disminuir los sólidos en suspensión del agua para que se eliminen componentes no deseables como sólidos orgánicos e inorgánicos y así tener agua estéticamente adecuado de buen color y olor, y luego someter a



tratamientos secundarios comprendido por los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, lográndose esclarecer las aguas residuales las que serán utilizados en las mineras, en agricultura y otros; también este proceso secundario se utiliza con el objetivo de evitar y prevenir sus efectos sobre la fuente receptora.

En consecuencia, el presente proyecto de tesis es de mucha importancia, que sirve para acelerar el proceso de sedimentación de sólidos totales en suspensión y disminuir la turbidez de aguas residuales de las pozas de relave minero para poder trabajar con agua esclarecido y aumentar la recuperación del oro (Au).

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la sedimentación de sólidos totales en suspensión y reducirlo la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros, utilizando la cal como coagulante - floculante en la UOMS - B.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la dosis optima de la cal (CaO) para el tratamiento de turbidez y para la sedimentación de sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.
- Determinar el porcentaje de la remoción de turbidez y de sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes históricos

En el distrito de Ananea, los trabajos para la recuperación del oro, datan desde tiempos coloniales, dejando pocos registros, quedando en abandono, hasta que Minero Perú trabajó en la explotación de oro, durante los años 1979 a 1992, para posteriormente abandonarlo; luego fue adjudicado por contrato de opción a la contratista Andrade Gutiérrez y Minera Caos; posteriormente los pobladores de la zona inician trabajos como mineros artesanales, hasta que finalmente se adjudica a la Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto Ltda. (CECOMSAP Ltda.) de Ananea, contaba con 4 concesiones mineras: San Antonio con 220 ha, María con 240 ha, Estela con 240 ha, y la Mística con 240 ha, formando un total de 940 ha (Cruz V., 2007).

La CECOMSAP fue titular de 4 concesiones hasta julio del 2012, posteriormente se subdivide en 3 concesiones, que son: La concesión minera Estela, concesión minera la Mística y concesión minera San Antonio – María.

Los beneficiarios de la concesión minera Estela son: Cooperativa Minera San Juan de Dios de Pampa Blanca Ltda., Cooperativa Minera Municipal de Ananea Ltda. y Cooperativa Minera Santiago de Ananea Ltda. (Proyecto Minero - Estela).

### 2.1.2. Antecedentes técnicos

Canaza, A. & Chambi, E. (2013), en su tesis *Evaluación de sedimentadores en columna y de flujo ascensional para remoción de fosfato de aguas residuales, utilizando floculantes cal y cloruro férrico*, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ), Universidad Nacional del Altiplano – Puno (UNAP). Concluye los siguientes: “El nivel de remoción de sólidos totales disueltos (STD) del agua residual se realizó utilizando el proceso de floculación – sedimentación con una sustancia química de cal (CaO) y Cloruro Férrico (FeCl<sub>3</sub>) se obtuvo con una concentración de remoción STD con floculante CaO en un 82,2 % y remoción STD con uso de floculante FeCl<sub>3</sub> un 58,3 %”. También concluye que “el nivel de remoción de turbiedad (NTU) del agua residual urbano experimental se realizó utilizando el proceso floculación - sedimentación con el uso de sustancias químicas de cal y FeCl<sub>3</sub>, obteniéndose las concentraciones de remoción de remoción de turbiedad (NTU) con floculante cal viva en un 85,4 % remoción de turbiedad (NTU) con floculante FeCl<sub>3</sub> en un 55,5 %” (p. 79).

Amanqui, D., & Lopez, F. (2004), en su tesis *Tratamiento de aguas ácidas de la mina Rinconada en el afluente del Balcón N° 03*, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Química, UNAP. Concluye lo siguiente: “la separación de sólidos/líquidos, la velocidad de sedimentación es un parámetro importante, llegando a establecerse que, al utilizar CaO (Oxido de calcio), el tiempo que se necesita para obtener un sedimento estable es de 10 horas, con un volumen de 110 cm<sup>3</sup>. Para el Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>S este tiempo es de 48 horas, con volúmenes de sedimento de 180 y 350 cm<sup>3</sup> respectivamente”. También concluye que “con el tratamiento de CaO como agente precipitante, se logra eliminar los metales disueltos, alcanzando valores de concentración cercanos al exigido por el reglamento del medio ambiente. Sin embargo, el producto de la precipitación es inestable” (p.161).

Mendoza, E. (2009), en su tesis *Tratamiento de aguas residuales procedentes de la planta de curtiembre del centro de investigación y producción de la Facultad de Ingeniería Química*, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería

Química, UNAP. Concluye lo siguiente: “los reactivos utilizados en el tratamiento no incrementan la contaminación en las aguas, esto se deduce de los análisis realizados” (p. 72).

Valdéz, D., & Palacios, R. (2009), en su tesis *Diseño construcción y operación de reactores de flujo continuo para coagulación – floculación y en sedimentación de sólidos disueltos para tratamiento de aguas residuales disueltos*, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Química, UNA - Puno. Concluye los siguientes: “El tratamiento de aguas residuales con mayor rendimiento de optimización se logró con el uso de los floculantes cal + sulfato ferroso teniendo un cambio de sólidos totales disueltos de 5,01 mg a 0,49 mg, las pruebas se realizaron con 100 litros de agua residual minera, cuya dosis de tratamiento fue de 25 g de cal y 108 de sulfato ferroso con un caudal de 0,84 l/min. Para un tiempo de residencia óptimo de 39 min en el reactor floculado a una temperatura de 10,5 °C cuyo porcentaje de rendimiento fue de 90,23 % para una velocidad de agitación de 505 rpm en el dosificador”. También concluye que “los floculantes zeolita – cal demuestran cambios de tratamiento de concentraciones iniciales de turbidez de 470 NTU a 4 NTU al final del tratamiento cuyo porcentaje de rendimiento calculado es de 99,15 % para una dosis utilizada de 35 g de Zeolita y 26 g de cal (CaO), el caudal óptimo es de 0,84 l/min. Cuyo tiempo de residencia óptima es de 35,41 minutos a una temperatura de 10 °C a 505 rpm de agitación de dosificador” (p. 144, 146).

Morales, L. (2010), en su tesis *Tratamiento de efluentes ácidos por NDS (Neutralización Coagulante Dinámica), para la optimización del proceso*, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, UNA - Puno. Concluye lo siguiente: “el consumo de caliza es de 10 g/l, porque permite formar hidróxidos metálicos y aumentar la velocidad de sedimentación de los precipitados, hecho que no ocurre en el proceso de LDS (Lodos de baja Densidad) en donde el reactivo es solo cal”. También concluye que, “el tiempo de agitación es una variable muy importante porque mide el tiempo de residencia necesario, para que la caliza pueda tener mayor contacto con los metales disueltos, y lograr una buena precipitación y coagulación”. El tiempo de agitación es de 15 minutos (p. 129).

García, C. & Tongombol, D. En su publicación *Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud*, presentado en EAP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión. Concluyen en dicha investigación “llegamos a obtener ideas más precisa y clara de lo que los relaves mineros son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente son una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas, y que vienen a ser uno de los mayores contaminantes ambientales” (p. 1).

## **2.2. Sustento teórico**

### **2.2.1. El agua en la industria minera**

#### **2.2.1.1. Tratamientos de aguas residuales minero metalúrgicas**

Los tratamientos de aguas residuales en las Empresas Minero Metalúrgicas en el Perú, están directamente relacionadas al tipo de aguas residuales que generan en sus operaciones y estos tratamientos incluyen el conjunto de procesos destinados a alterar las propiedades o la composición física, química o biológica de las aguas residuales, de manera que se transformen en vertidos inocuos más seguros para su transporte, capaces de recuperación y almacenaje, o más reducidos en volumen.

En las minas se pueden presentar los siguientes casos:

- Que no haya agua de mina.
- Que las aguas tengan un pH, sólidos suspendidos y metales disueltos dentro del rango de la norma y no necesitan tratamiento.
- Muy pocas veces se encuentran que unos parámetros de las aguas de mina exceden las normas en este caso se puede optar por un solo tratamiento para el parámetro excedido: cuando las aguas excedan a la norma solo en lo relacionado a los sólidos suspendidos, el tratamiento es con pozas de sedimentación o decantación, con o sin

uso de coagulantes y/o floculantes. Estas pozas de sedimentación van desde las más simples a las complejas, dependiendo de la cantidad de sólidos en suspensión en las aguas residuales. Cuando las aguas tengan valores de pH menores a lo normado (aguas ácidas) el tratamiento será de neutralización con productos alcalinos como cal, soda cáustica o cualquier otro producto alcalino. Cuando las aguas contengan metales disueltos que excedan las normas vigentes el tratamiento será de precipitación química como hidróxidos (usando lechada de cal, hidróxido de sodio u otro hidróxido alcalino) o como sulfuros (usando sulfuro de sodio, sulfuro de potasio u otro sulfuro).

- En la mayoría de los casos se presentan dos o más parámetros combinados excediendo las normas, necesitándose de dos o más tratamientos para cumplir las normas, optándose en la mayoría de los casos por una planta de tratamiento.

Un manejo y tratamiento adecuado de aguas residuales industriales permitirá disminuir el vertimiento de agua tratada hacia el cuerpo receptor e incrementar la cantidad recirculada a las operaciones, minimizando con esto el uso de aguas frescas o de reposición provenientes de las lagunas del entorno.

El tratamiento integral de las aguas residuales industriales permitirá, además, obtener agua de mejor calidad que la actual que pueda ser vertido al cuerpo receptor sin problemas de incumplimiento de las normas legales vigentes (Requena, 2008, p. 26).

#### **2.2.1.2. Aguas residuales de operaciones mineras y procesos metalúrgicos**

Según, el “Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente” (1994). Indica que, dependiendo de la clase de desarrollo y operación minera de la clase de procesamiento de plantas de pre concentración y concentración de minerales, de la clase de tratamiento hidrometalúrgico y procesos piro metalúrgicos y de la disponibilidad de aguas en la región los elementos contaminantes de los efluentes generados pueden ser orgánicos e inorgánicos (Cruz, 2012, p. 13).

Son aquellas que proceden de cualquier actividad en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no solo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria (Mayo, 2010, p. 8).

#### **2.2.1.3. Relaves mineros**

Toda planta de concentración de minerales, produce o genera un volumen de relaves que es por lo general, en dos terceras partes superior al volumen original de mineral extraído de las galerías mineras o de las superficies, por lo que para el tratamiento de este relave y su posterior disposición se debe contar con un área suficientemente grande para su almacenamiento. (Rojas, 2007, p. 18)

#### **2.2.1.4. Depósitos o pozas de relaves**

Los depósitos de relaves se pueden considerar como una forma de tratamiento de las aguas residuales de las plantas concentradoras, ya que mediante estos depósitos se obtienen efluentes con bajo contenido de sólidos en suspensión.

El tamaño de los depósitos de relaves condiciona el tiempo de retención, para la sedimentación de las partículas finas (sólidos suspendidos) del relave. Cuando la calidad de los efluentes de los depósitos de relaves no cumpla los estándares de calidad, se debe contemplar el uso de un tratamiento adicional que garantice el cumplimiento de los estándares de calidad vigentes.

#### **2.2.2. Etapas del tratamiento físico - químico**

El tratamiento físico - químico del agua residual tiene como finalidad, mediante la adición de ciertos productos químicos, la alteración del estado físico de estas sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación (Requena, 2008, p. 28).

### 2.2.2.1. Coagulación

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un flóculo o precipitado. La coagulación de partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

Se puede considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

- Neutralización de la carga del coloide.
- Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido (Requena, 2008, p. 28).

**Neutralización de la carga del coloide.-** Su objetivo es obtener pH requerido. En este proceso el agua contaminada acidificada es neutralizada con álcali, el agua contaminada alcalinizada es neutralizada con ácido. Cuando se neutralizan un álcali, se usa generalmente hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). El uso de piedra caliza (carbonato de calcio =  $\text{CaCO}_3$ ) es también ampliamente difundido, y algunas veces para efectuar la neutralización (Valdez & Palacios, 2009, p. 50).

**Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido.-** Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado. Los factores que influyen en el proceso de coagulación son:

- pH.

Es una medida de la concentración de protones en una solución (Weber, 1989). El pH es un factor crítico en el proceso de coagulación, siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los



iones metálicos del coagulante. Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran: cal viva, cal apagada, carbonato sódico, sosa cáustica, ácidos minerales (Requena, 2008, p. 29).

- Agitación rápida de la mezcla.

Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado. Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (Requena, 2008, p. 30).

- Tipo y cantidad de coagulante.

Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro. Las reacciones de precipitación que tienen lugar con cada coagulante son las siguientes: cal (CaO), sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), con carbonato de sodio ( $CaSO_4$ ), sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ), sulfato férrico ( $Fe_2(SO_4)_3$ ), cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) (Requena, 2008, p. 30 - 32).

#### **2.2.2.2. Floculación**

Comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma (Valencia, 1992).

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden sedimentar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas

coaguladas, aumentando por tanto, la velocidad de sedimentación de los flóculos. Existen, además, ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del flóculo (flóculo más pesado y voluminoso). Hay diversos factores que influyen en la floculación:

- Coagulación previa lo más perfecta posible.
- Agitación lenta y homogénea.

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados.

- Temperatura del agua.

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

- Características del agua.

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

- Tipos de floculantes según su naturaleza, los floculantes pueden ser: Minerales: por ejemplo, la sílice activada, se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Orgánicos: son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético (Requena, 2008, p. 32-34).

### 2.2.3. Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones más utilizadas en el tratamiento de aguas (Metcalf & Eddy, 1996). La sedimentación es la separación de sólidos en suspensión de un líquido, que se verifica por asentamiento gravitacional. Tales operaciones pueden dividirse en espesamiento y clarificación. Aunque se rigen por principios semejantes, estos procesos difieren en que el objetivo primario del espesamiento es incrementar la concentración de sólidos totales en suspensión, mientras que la clarificación sirve para separar los sólidos de una corriente relativamente diluida (Terroba, 2010, p. 28).

**Separación sólido – líquido.-** Su objetivo es reducir el contenido de sólidos en suspensión (SS). Estos sólidos resultan de la formación de partículas finas de la manera en el proceso de voladura, trituración y molienda; también proceden de las reacciones químicas que ocurren durante el tratamiento, produciendo precipitados. La separación sólido – líquidos se consigue por tamización, por sedimentación directa, por floculación y sedimentación, por filtración y por flotación, que son los métodos más accesibles en labores mineras, en cuanto a costo se refiere (Valdez & Palacios, 2009, p. 49).

**Sedimentación directa.-** La sedimentación directa es el procedimiento más importante y ampliamente adoptado de sólido – líquido en el que las partículas de SST, por sus propios pesos sedimentan aguas contaminadas. La velocidad de sedimentación de partículas sólidas contenidas en líquidos depende del tamaño, peso específico de la partícula, viscosidad y densidad del líquido. Generalmente se usa a fórmula de Stokes, para calcular las velocidades de sedimentación de tales partículas (Valdez & Palacios, 2009, p. 49).

**Zonas de sedimentación.-** Menciona en antecedente de su tesis, los estudios realizados por Coe y Clevenger en (1916) Fernando Concha, R Burger identificaron que la sedimentación de suspensiones homogéneas genera 4 zonas en la columna de sedimentación que desde la parte superior hasta la parte inferior de la columna fueron denominadas como: A zona de

agua clara, B zona de concentración inicial constante, C es una zona de concentración variable y D es la zona de compresión (ver Figura 2.1).

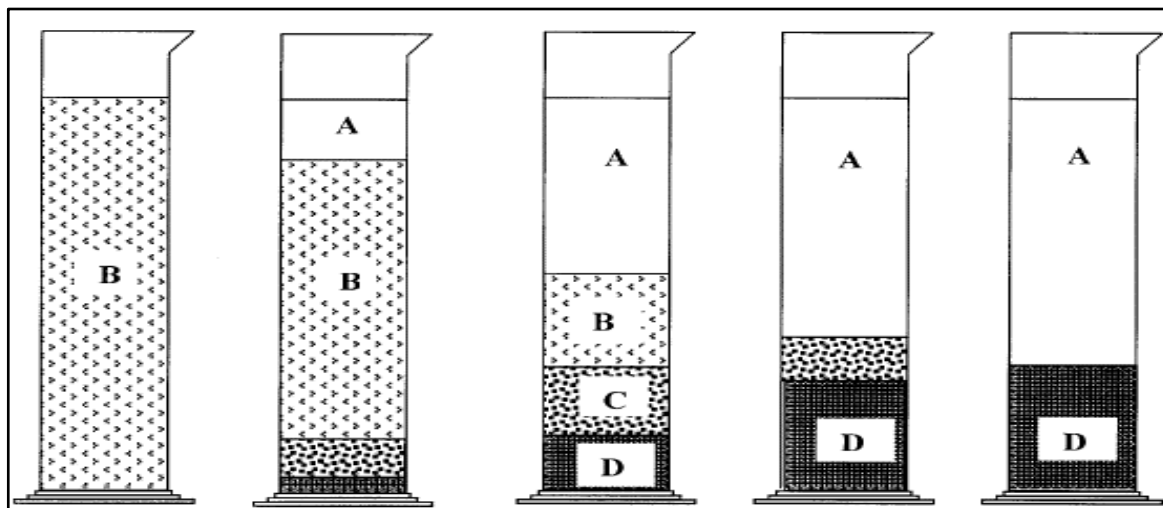


Figura 2.1: Zonas de sedimentación en batch

Fuente: Orozco, (2009).

Varios autores describieron la sedimentación de suspensiones mediante variaciones de la ecuación de *Stokes* o por modelos empíricos (Egolf and McCabe 1937; Ward and Kammermeyer, 1940; Work and Kohler, 1940; Kammermeyer, 1941), pero sin contribuciones realmente importantes en la modelación de la sedimentación. El desarrollo del conocimiento en sedimentación por Coe y Clever's (1916) hasta la mitad del siglo 20 fue basado en balances macroscópicos del sólido y el fluido en sedimentación en probetas y sobre la observación de diferentes concentraciones establecidas en el sedimentador. (Orozco, 2009, p. 13).

**Velocidad y tiempo de sedimentación.-** Definimos como sedimentación al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad. Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro, estos son: Suspensiones hasta diámetros de  $10^{-4}$  cm, coloides entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  cm, soluciones para diámetros aún menores de  $10^{-6}$  cm. Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas.

- El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de  $10^{-4}$  cm. constituye la sedimentación simple.
- El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un floculo que pueda sedimentar.
- Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el floculo y permitir así la sedimentación.

Es decir que, en muchos casos, las impurezas pueden ser, al menos en teoría removidas mediante el proceso de sedimentación. A continuación, detallaremos en la Tabla 2.1 en el título ilustrativo valores de la velocidad de sedimentación correspondiente a partículas de peso específico  $2,65 \text{ kg/dm}^3$  y a una temperatura del agua de  $10^\circ \text{ C}$ , teniendo en cuenta distintos diámetros y los tiempos necesarios para sedimentar 0,3 m.

Tabla 2.1: Velocidad de sedimentación

D (mm)	Clasificación	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Tiempo para sedimentar 0,3 m.
10,0	Grava	1 000,00	0,3 s
1,0	Grava	100,00	3,0 s
0,1	Arena gruesa	8,00	38 s
0,01	Arena fina	0,154	33 min.
0,001	Bacterias	0,00154	35 horas
0,001	Coloides	0,0000154	230 días
0,0001	Coloides	0,000000154	63 años

Fuente: Teoría de sedimentación (Pérez, 2005)

En la Tabla 2.1 se deduce que en la práctica es necesario establecer un tiempo límite para la sedimentación estableciendo a priori el diámetro mínimo que la estructura podrá remover. Lo contrario implicaría diseñar tanques de sedimentación incompatibles con las posibilidades económicas y aún físicas de los proyectos (Pérez, 2005, p. 02, 03).

### 2.2.4. Turbidez

Como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

Su medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La turbiedad del agua está causada por el material en suspensión.

La unidad de medida adoptada por el estándar ISO es el FTU (Unidad de Turbidez de la Formación). Que identifica al NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez) los otros dos métodos usados para medir la turbidez y sus unidades de medida son: el JTU (Unidad de Turbidez Jackson) y la unidad de silicio ( $\text{mg/l SiO}_2$ ) a continuación se puede observar en la Tabla 2.2; la conversión de estos métodos y sus unidades como frecuencia. (Medina R., 2007).

Tabla 2.2: Factores de conversión entre unidades de turbidez

UNIDAD	JTU	NTU	SiO <sub>2</sub> mg/l
JTU	1,0	19	2,5
NTU	0,053	1	0,133
SiO <sub>2</sub> mg/l	0,4	7,5	1

Fuente: Medina, (2007).

#### 2.2.4.1. Coloide

Son sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica. Estas partículas tienen un diámetro de 1 a 100  $\mu\text{m}$ , esto les permite estar en suspensión, además se encuentran cargados eléctricamente por lo que tienen una gran capacidad de absorción de sustancias (Marín, 2011, p. 14).

### 2.2.5. Sólidos totales en suspensión (SST)

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103 - 105 °C hasta peso constante. Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida (Marín, 2011, p. 19).

### 2.2.6. Sedimentación según el tipo de partículas

**Sedimentación de partículas discretas.-** Son aquellas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los pre-sedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta. (Galvis, 2014, p. 39).

**Sedimentación de partículas floculentas.-** Son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos como coagulantes. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas sí cambian durante la caída. Se denomina sedimentación floculenta al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación - floculación y la filtración rápida. (Galvis, 2014, p. 39).

**Sedimentación por caída libre e interferida.-** Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, estas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual, denominándose esta sedimentación depósito o caída interferida o sedimentación zonal. Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor

consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos (Galvis, 2014, p. 39).

### **2.2.7. Cal**

#### **2.2.7.1. Cal viva (CaO)**

La cal viva u oxido de calcio (CaO) es el producto resultante de la calcinación de la piedra caliza, compuesto principalmente de óxido de calcio y magnesio (CaMgO<sub>2</sub>). La cal hidratada es, por lo general, un polvo seco mediante el tratamiento de cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química por el agua, en las condiciones de su hidratación. Comúnmente, la cal hidratada o apagada tiene un 75 a 95 % de material que pasa tamiz N° 200 y, en algunos usos especiales, se usa cal fina con un 99,5 % de material que pasa tamiz N° 235. Cuando se usa solamente cal como precipitante, las ecuaciones son las siguientes:

- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ .
- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Ca(HCO}_3)_2 = 2\text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ .

Por tanto, debe agregarse una cantidad de cal suficiente para que combine con todo el ácido carbónico libre y con el ácido carbónico de los bicarbonatos; así se produce el carbonato de calcio, el cual actúa como coagulante. Si en el agua existiese acidez mineral, también se necesitaría neutralizarla antes de que ocurriera la precipitación (Romero, J. 2005, p. 244).

#### **2.2.7.2. Cal hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>)**

La cal hidratada es muy conocida en el uso de la suavización de agua y en el tratamiento de lodos. Además de estas dos aplicaciones, la cal hidratada también puede ser utilizada en el tratamiento de aguas industriales y soluciones contaminadas inorgánicas



peligrosas. En el tratamiento de lodos normalmente se separa una parte líquida libre de sólidos que según estudios realizados en algunos casos puede presentar ciertos metales pesados, sobre todo en un medio ácido. (Grupo Calidra, 2002, p. 10).

La cal hidratada también se emplea para remover otras impurezas, especialmente manganeso, fluoruros, hierro y taninos orgánicos los cuales causan olores indeseables. Generalmente, la suavización con cal eliminará 80 – 90 % del color y el resto desaparecerá con la utilización de carbón activado (Grupo Calidra, 2002, p. 15).

#### **2.2.7.3. Lechada de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )**

La preparación de la lechada de cal se realiza en el extintor, donde la cal virgen se quema y la hidratada se mezcla con el agua por medio de agitadores. La mezcla se diluye en tanques de alimentación y de dosificación, provistos de agitadores para mantener la cal permanentemente en suspensión. La suspensión dosificada de dicha manera se envía a la entrada (en el caso de ajuste del pH óptimo de floculación) o a la salida del tratamiento (en el caso de la corrección final del pH) o a ambos puntos de la planta de tratamiento de agua, mediante tuberías y con una inyección de agua auxiliar. La suspensión de lechada de cal se prepara en una concentración de 5 % (Organización Mundial de la Salud, 1998, p. 431).

#### **2.2.7.4. Cal como coagulante**

La cal hidratada es un coagulante muy económico y da muy buenos resultados, trabajándolo a pH alcalinos entre 9 – 11. Algunas de las ventajas que se tienen con respecto a otros coagulantes de este tipo, es su capacidad de precipitar metales pesados (arsénico, cadmio, zinc, entre otros) que se encuentran en solución. El hidróxido de calcio es muy utilizado como coagulante ya que es eficaz con otros floculantes que trabajan a pH alcalinos. Otro beneficio del uso de este producto es su propiedad de eliminar olores, ya que también reacciona con materia orgánica y microorganismos. La cal hidratada se emplea conjuntamente, proporciona control de pH, reducción de olores y desinfección (Grupo Calidra, 2002, p. 8).

#### 2.2.7.5. Uso de la cal

La cal se utiliza en forma de polvo en el tratamiento de aguas, para neutralizar, precipitar y decarbonatar. Sus ventajas sobre la cal hidratada son: menor precio y necesidad de almacenamiento para una misma cantidad de iones calcio. La cal actúa como agente, coagulante, depresante, purificante, regulador de pH. La desventaja de tratar el agua con cal, es que genera un pH elevado. La cal es el único de los coagulantes que tiene la habilidad de remover los sólidos disueltos totales (Coloma, A. 2008, p. 143).

#### 2.2.7.6. Aplicaciones de la cal

- Precipitación (la coagulación y la floculación).
- Remoción de metales pesados (arsénico, bario, cadmio, cromo, flúor, plomo, mercurio, plata y otros).
- Eliminación las impurezas y control de sabor y olor (manganeso, fluoruros, hierro y taninos orgánicos los cuales causan olores indeseables).
- Purificación (en 24 - 28 h, tiene éxito en la destrucción de la bacteria).
- Suavización (suaviza la dureza del agua). Grupo calidra, (2002).
- Regulador o ajuste de pH (procesos mineralúrgicos).
- Neutralizante (de aguas y suelos ácidos).
- Floculante (tratamiento de aguas).
- Desinfectante (aguas contaminadas), entre otros (Guillermo A., 2014).

#### 2.2.7.7. Propiedades físico - químicos

- Propiedades físicas:

Estado Físico	: Sólido.
Apariencia	: Polvo blanco.
Olor	: Rancio.
Densidad	: 3 300 kg/m <sup>3</sup> ; 3,3 g/cm <sup>3</sup> .

- Propiedades químicas:

Solubilidad : En agua.

Fórmula molecular : CaO.

Nombre : IUPAC.

Nombres : Cal viva, óxido cálcico y óxido de calcio (II).

CaO Activo : 85,00 % (Química Universal Ltda, 2006).

### 2.3. Glosario de términos básicos

**Aguas residuales.-** También llamadas *aguas negras*. Las aguas residuales derivadas de fuentes o procesos de las actividades mineras. Llevan disueltas materiales coloidales y sólidos en suspensión. Su tratamiento y depuración constituyen el gran reto ecológico en los últimos años por la contaminación de los ecosistemas.

**Cal.-** Es el producto que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. La caliza, al calentarla a 900 °C, pierde el CO<sub>2</sub> y se convierte en cal viva. El CaO mezclado con agua forma el hidrato cálcico, cal pagada (Ca(OH)<sub>2</sub>), se hincha, produce mucho calor y se endurece o, como corrientemente se dice, fragua. La cal viva sometida al tratamiento con agua, se llama cal apagada (hidróxido de calcio).

**Clarificación.-** Proceso de clarificar el agua turbia con la remoción de los materiales suspendidos.

**Coagulación.-** La acción de congregarse la materia suspendida en el agua, coloidal o finamente divididas mediante la adición al líquido de un coagulante adecuado.

**Coloide.-** Es una suspensión de sólidos finamente divididos que no se sedimentan fácilmente, pero que pueden ser eliminados por coagulación.

**Efluente.-** Producto de desecho de un proceso gaseoso, líquido o sólido que es descargado al ambiente. Estos desechos pueden haber sido tratados o no. Cualquier sólido, líquido, gas o semisólido que entra en el ambiente como un subproducto de actividades humanas.

**Floculación.-** Aglomeración de partículas finas suspendidas en un líquido, por métodos químicos o físicos.

**Muestra de agua.-** Porción de agua representativa de un cuerpo acuoso en un tiempo y lugar específico.

**Neutralización.-** Adición de un material ácido o alcalino al agua o al suelo para ajustar su pH hasta alcanzar el valor de 7 (neutro).

**Purificación.-** Es la remoción de las impurezas de la solución que llevan los metales. Las impurezas se retiran para prevenir problemas en la precipitación, la extracción eléctrica o para otros procesos de recuperación del metal.

**Precipitación.-** Producir en una disolución una materia sólida que caiga al fondo de una vasija.

**Relaves.-** en la mayoría de los casos las aguas decantadas que se descargan de las pozas de relaves cumplen con las normas de pH, sólidos suspendidos, metales disueltos e incluso con el contenido de cianuro.

**Residuos sólidos.-** Materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, que pueden ser objeto de tratamiento o reciclaje.

**Reutilización.-** Uso de un material, subproducto o producto residual más de una vez.

**Sedimentación.-** Es la separación de partículas sólidas en suspensión de un líquido; se realiza por sedimentación gravitacional. También se llama asentamiento.

**Turbidez.-** Disminución de la transparencia del agua causada por la presencia de partículas sólidas en suspensión a simple vista pero que impide el paso de la luz a través del líquido.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

El uso de la cal como coagulante-floculante acelera el proceso de sedimentación de sólidos totales en suspensión y disminuye la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- La adición de la cal ( $\text{CaO}$ ), influye en la reducción de la turbidez y en la sedimentación de sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.
- El porcentaje de la remoción de turbidez y de sólidos totales en suspensión, coopera en la identificación del rendimiento de la cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.

## **2.5. Operacionalización de variables**

### **2.5.1. Variable independiente (Vi)**

Tratamiento de la turbidez con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.

**2.5.2. Variable dependiente (Vd)**

Sedimentación de SST con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.

**2.5.3. Variable interviniente (Vint)**

pH.

Tabla 2.3: Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Índice
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tratamiento de la turbidez con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua a tratar.</li> <li>Turbidez.</li> <li>Sedimentación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen del agua a tratar.</li> <li>Medición de turbidez.</li> <li>Tiempo de sedimentación.</li> <li>SST.</li> <li>Porcentaje de sedimentación.</li> </ul>	<p>cm<sup>3</sup> o l</p> <p>NTU</p> <p>Min</p> <p>mg/l o g/l</p> <p>%</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sedimentación de SST con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de lechada.</li> <li>Recuperación de agua esclarecida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosis optima de cal para litro de agua.</li> <li>Rendimiento de coagulante – floculante.</li> <li>Volumen de agua esclarecido.</li> </ul>	<p>mg/l o g/l</p> <p>%</p> <p>cm<sup>3</sup> o ml</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencial de hidrógeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acidez.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH</li> </ul>	<p>6 – 9</p>

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

La investigación que se realizó es de tipo analítico y explicativo; porque el objetivo planteado indica evaluar la sedimentación de sólidos totales en suspensión y reducirlo la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros, utilizando la cal como coagulante - floculante en la UOMS - B.

##### 3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental mediante las pruebas de jarras (*Jar-Test*) en el laboratorio utilizando como coagulante - floculante cal, para poder determinar los resultados de cálculos matemático-estadístico y analítico; porque el planteamiento de problema establece el tratamiento adecuado para lograr sedimentar los sólidos totales en suspensión y reducirlo la turbidez utilizando la cal como coagulante-floculante en la UOMS - B. Para medir, analizar, describir y explicar la interrelación de variables que se describen; la variable independiente (causa) que es el tratamiento de la turbidez con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B, como variable dependiente (efecto) sedimentación con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS – B.

### **3.2. Población y muestra de investigación**

#### **3.2.1. Población**

La población de este trabajo de investigación son las aguas residuales de las pozas de sedimentación y clarificación que viene a ser 13 559 m<sup>3</sup> de aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B como indica en la Tabla 3.3.

#### **3.2.2. Muestra**

La muestra de la investigación son las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B; viene hacer la muestra tomada en el punto 01, como indica en el Anexo 06, de este 50 litros (l) se realizó un pre tratamiento y luego tomo como muestra representativa el 20 % (10 litros) de agua residual, sin variar su composición del material original se traslada al laboratorio para realizar las respectivas análisis y prueba. Este procedimiento se realizó para las cuatro fechas de pruebas de jarra. La muestra total que sea utilizado para las pruebas de jarra es 40 litros de agua residual de relaves mineros, adicional a las pruebas de jarra se utiliza 20 litros para la análisis y otros. Entonces el tamaño de la muestra vendría a ser 60 litros de aguas residuales aproximadamente.

### **3.3. Ubicación y descripción de la población**

#### **3.3.1. Ubicación política**

La Unidad Operativa Minera Santiago “B” de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea Ltda, que pertenece al Proyecto Minero Estela – CECOMSAP, la mina se ubica en el flanco oriental de la cordillera de los andes, al sur del Perú.

Departamento : Puno

Provincia : San Antonio de Putina



Distrito : Ananea  
Paraje : Vizcachani

### 3.3.2. Ubicación geográfica

El proyecto se ubicado geográficamente en las coordenadas UTM (Sistema WGS 84, 19 *south*) como se muestra en Tabla 3.1 (ver Anexo 01 y 03).

Tabla 3.1: Coordenadas de UTM de la UOMS - B.

Coordenadas UTM	
Este	446 149
Norte	8 375 667
Altitud	4 866 m.s.n.m.

### 3.3.3. Accesibilidad

Desde Puno se llega a la zona de proyecto de investigación por medio de vía terrestre (Anexo 01) excepto de Lima a Juliaca, ver la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Vías de acceso

Tramos	Vía	Distancia (km)	Tiempo	Condición
Lima- Juliaca	Aéreo	842	01 h: 32 min	Muy buena
Puno – Juliaca	Terrestre	45	00 h: 45 min	Buena
Juliaca – Putina	Terrestre	90	01 h: 15 min	Buena
Putina – Ananea	Terrestre	65	01 h: 15 min	Buena
Ananea – UOMS-B	Terrestre	08	00 h: 10 min	Regular

### 3.3.4. Precipitación fluvial

Para el análisis de la precipitación se ha tomado como referencia la estación meteorológica Ananea CO. 114 050 para calcular el promedio del año 2016. En la estación

meteorológica Ananea la precipitación total anual promedio es 50,1 mm (enero hasta diciembre), siendo el más bajo en mes de junio 0,0 mm y el más alto es en el mes de enero 131,0 mm, ver Anexo 02.

### 3.3.5. Temperatura

El régimen de temperaturas en esta zona resulta muy desfavorable, pues en los meses de enero a diciembre del 2016 descienden a niveles por debajo de 0 °C de acuerdo a los datos de estación Ananea, durante el periodo 2016, la temperatura media anual es 5,0 °C. La temperatura máxima promedio del 2016 es 11,5 °C, las temperaturas máximas más altos se registran en los meses de marzo a junio entre 12,2 °C a 11,7 °C; y la temperatura mínima promedio del 2016 es -1,6 °C, las temperaturas mínimas más bajos se registran en los meses de junio a setiembre entre -2,7 °C a -2,9 °C, ver Anexo 02.

### 3.3.6. Hidrología

El área hidrográfica de la microcuenca del riachuelo Ananea es 35,73 km<sup>2</sup>, una parte de las aguas de drenaje es almacenada en la represa artificial de Sillacunca que tiene una superficie de 276 hectáreas y tiene una capacidad de almacenamiento de 7000,000 m<sup>3</sup>, ubicado sobre una altitud de 4 800 m.s.n.m. y la otra parte es decir 12,43 km<sup>2</sup> que representa 34,78 % del área total de la microcuenca, drenan actualmente sobre el riachuelo Ananea, ver Anexo 04.

Riachuelo Ananea, cuyas aguas están almacenadas en pequeñas pozas de tierra para captar por bombeo.

Canal Sillacunca, cuyas aguas son derivados de la represa de Sillacunca, la misma que es regulado a través de una válvula de compuerta, un caudal promedio de 370 l/s y es conducido por gravedad por canal en tierra, donde se abastecen directamente las plantas de lavado de las unidades operativas ubicadas en las cercanías de este canal riachuelo Ananea (Proyecto Minero Estela - IGAC).

### 3.3.7. Flora y fauna

#### 3.3.7.1. Flora

En el área de influencia directa se registró vegetal en los cuales las especies predominantes depende de muchos factores tales como altitud, clima, calidad de agua, calidad y pendiente del suelo, época del año y otros estados, presencia de microorganismos y/o la microflora del suelo, así se han encontrado diferentes géneros y especies: Géneros *Calamagrostis*, *Distichia*, *Oxhloe*, *Poa*, *Juncus*, *Carex*, *Plantago*, *Gentiana*, *Werneria*, *Hypsela*, *Alchemilla*, *Ranunculus* y otros. La única registrada en el área de influencia del proyecto minero Estela es la Azorella Compacta y A. multifila, *yareta*, como especie en estado vulnerable según la lista roja de la UICN - INRENA (Proyecto Minero Estela - IGAC).

#### 3.3.7.2. Fauna

La presencia de fauna con mayor incidencia fue registrada en aves en su mayoría con avistamiento de una especie de reptil, a continuación se muestra el registro fauna silvestre de diferentes especies: *vanellus resplendes*, *cicalis uropigialis*, *zonotrychia capensis*, *falcobahenus esparverius*, *liolaemus sp*, *Zenaida auriculata*.

La actividad ganadera de las comunidades campesinas de los alrededores está dada básicamente por la crianza de camélidos sudamericanos y ovinos en menor proporción, alpaca *lama glama pacos*, llama *bóvidos* oveja *ovisaries*, los cuales son usados en la alimentación cotidiana de la población. No se identificaron especies protegidas por la legislación peruana y legislación internacional.

Entre el patrimonio natural, conjunto de plantas, animales y ecosistemas, protegidos por el estado peruano, el ámbito del proyecto minero no se encuentra entre los límites de ninguna de las áreas naturales protegidas por el estado peruano o de sus zonas de amortiguamiento (Proyecto Minero Estela - IGAC).

### 3.3.8. Fisiografía y geomorfología

Las unidades morfo-estructurales más sobresalientes del área de influencia indirecta de la zona de estudio están representadas por:

- La cordillera de Carabaya.
- La depresión longitudinal: Crucero, Ananea, Coata.
- Área de influencia directa.
- Pre cordillera de Carabaya.

### 3.3.9. Geología

Localmente el área de influencia comprende las siguientes unidades lito - estratigráficas, ver Anexo 05.

#### 3.3.9.1. Formación Ananea (SD-a)

Esta unidad corresponde al basamento paleozoico, está caracterizada por la presencia de pizarras y filitas producto de una esquistosidad de flujo son de coloración negra con presencia de  $\text{FeO}_3$  y cuarcitas de coloración gris blanquecina caracterizada por una abundante sedimentación con presencia de sílice.

La estructura más sobresaliente es el cerro Chosicanipata cuya superficie expuesta que se encuentra escarpada y emplazada en el distrito de Ananea. Esta formación constituye el límite de mineralización glaciofluvial (Proyecto Minero Estela - IGAC).

#### 3.3.9.2. Grupo Tarma. (P-ta)

Se encuentra en la parte sur este del yacimiento San Antonio de Poto, en el sector del cerro Santa Rosa, emplazándose por el margen izquierdo de la carretera Ananea Trapiche, específicamente aflora en el cerro quebrada estructuralmente está caracterizada por la

presencia fallas normales y de rumbo; no se ha evidenciado presencia de algún tipo de mineralización en las zonas (Proyecto Minero Estela - IGAC).

### 3.3.9.3. Formación Arco-Aja. (Q-aj)

Constituida por un miembro inferior de sedimentos palustres finos y un miembro superior aluvial y conglomeradico. Localmente se encuentra supra yaciendo a la formación Ananea bajo una discordancia angular cuaternaria (Proyecto Minero Estela - IGAC).

### 3.3.10. Operaciones unitarias

Las operaciones unitarias o mineras de la UOMS – B, consiste en: perforación (calambuco), voladura, arranque y carguío, acareo y transporte, lavado de material (pre concentrado), amalgama (concentrado) y tratamiento de efluentes, los cuales se puede ver en Figura 3.1.

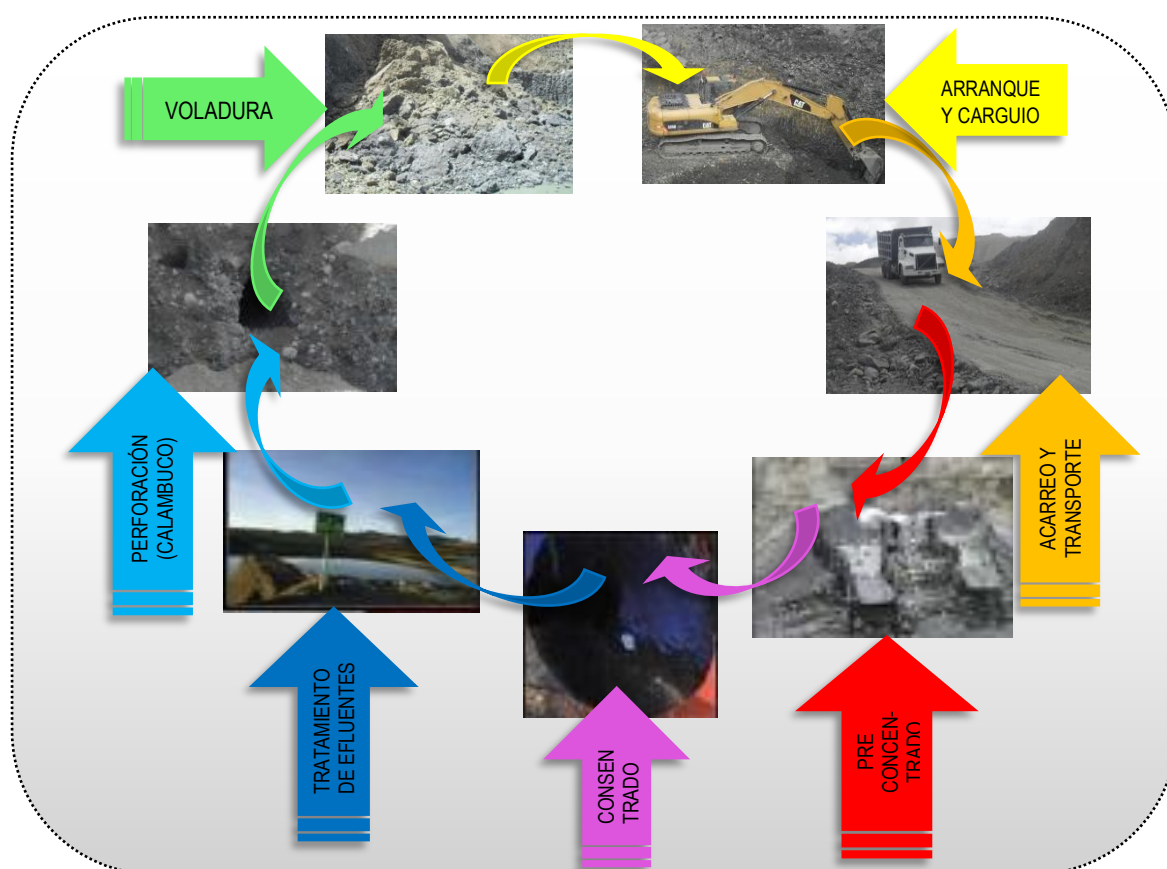


Figura 3.1: Ciclo de operaciones

**Desbroce.-** La explotación del yacimiento se realizará empleando la técnica semi-mecanizada, la cual es la explotación a tajo abierto con minado de tipo terrazas descendentes y/o método de canteras, que consiste en la apertura del yacimiento en el frente minado para luego continuar la progresión hacia los lados y hacia abajo. Como el mineral aurífero económicamente rentable se encuentra debajo y junto al material orgánico se procederá directamente a la apertura del frente de minado a fin de reducir costos de operación.

**Perforacion y voladura calambuco (tipo coyote).-** Una vez iniciado el desbroce y según se requiera, se procedió a realizar la apertura de un túnel tipo coyote en la base y perpendicular a la cara del talud para su posterior voladura programada cada 12 días 2 veces por mes como se muestra en la Figura 3.2.

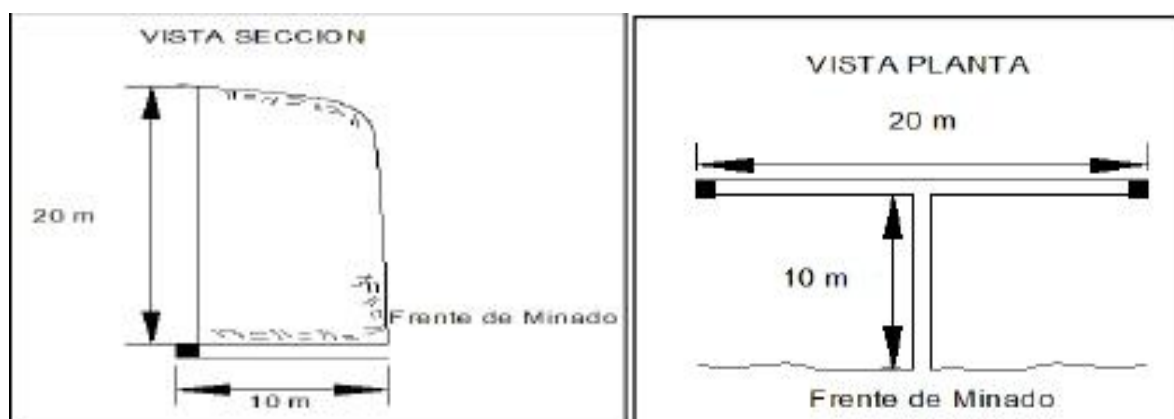


Figura 3.2: Diagrama características del calambuco o voladura coyote

Fuente: Proyecto Minero Estela - IGAC

**Arranque, perfilaje de talud, carguío y transporte.-** Esta etapa del ciclo de operaciones consta del arranque de material ya sea acumulado debido a procesos de voladura o directamente de las partes blandas de la cara del talud generado, se realiza mediante excavadora que también cumple la función de carguío hacia los volquetes de 15 m<sup>3</sup> para su posterior transporte hacia la planta o chute de beneficio una distancia variable de acuerdo a la zona a explotar y las condiciones geométricas del yacimiento según se dispongan

ubicadas las unidades operativas con respecto al frente de minado (Proyecto Minero Estela - IGAC).

### 3.3.11. Proceso metalúrgico

**Lavado de material aurífero.-** También llamado comúnmente en este tipo de minería como “lavado” del material aurífero, es la disgregación del material semi-consolidado por medio de chorros de agua usando monitores artesanales en la tolva de alimentación o *chute*. El objetivo de esta operación es el de liberar a las partículas de oro del material aurífero proveniente del frente de minado, que pueden ser arcillosos, gravas, pedregosos. Esta operación es muy importante en esta primera etapa y que dependiendo del correcto lavado supondrá una mejor liberación del valioso (Proyecto Minero Estela - IGAC).

**Clasificación.-** La clasificación es la segunda etapa dentro del circuito de recuperación aurífera, que sigue posterior a la hidro-disgregación en la tolva de alimentación o chute, esta se efectuara por medio de una estructura metálica con aberturas de 1/2" que es la parrilla fija.

La parrilla fija está dispuesta a continuación del set o boca de salida del chute y por esta estructura pasará el material lavado menor a 1/2", este material es la pulpa que es recepcionada en una tolva, de dimensiones proporcionales a la parrilla fija, en la tolva de recepción la pulpa se mezcla por lapso de tiempo mínimo y pasa a los canales de concentración gravimétrica (Proyecto Minero Estela - IGAC).

**Concentración gravimétrica.-** Una vez pasada la pulpa por la parrilla fija el passing es conducido a los *sluices* o canales gravimétricos, donde se concentra el oro en las diferentes partes del canal (Proyecto Minero Estela - IGAC).

**Tratamiento de aguas con sólidos totales en suspensión (poza desarenadora).-** Esta poza, está diseñada para retener relave intermedio ( $<1/2'' - 0,083$ ), arena principalmente, que son arrastrados por el flujo turbulento de la pulpa (material – agua);

para evitar que ingresen, al canal que conduce a la primera poza de sedimentación, pudiendo disminuir la capacidad hidráulica y causar problemas de colmatación durante el proceso de tratamiento. La pulpa que no llega a depositarse sobre las trampas y alfombras, es conducida hacia una poza de desarenado, donde las arenas se precipitan.

Las dimensiones de esta poza son variables según la composición del material aurífero morrénico. Esta estructura, permite realizar la limpieza de la arena que proviene de la etapa de concentración gravimétrica, utilizando maquinaria pesada como es el cargador frontal y volquete; la misma que debe ser trasladado y depositado dentro de relave grueso para evitar que sean arrastrados por la escorrentía. La cantidad de este material es aproximadamente el 35 % (Proyecto Minero Estela - IGAC).

**Poza de sedimentación y clarificación.-** Esta parte del sistema es un aspecto primordial dentro de la operación ya que en las pozas de sedimentación se realiza el almacenamiento y sedimentación de los lodos en suspensión para su posterior limpieza y transporte hacia las zonas acondicionadas para su almacenamiento.

Dentro del proyecto minero de las concesiones Estela, adoptamos un sistema de poza de sedimentación en un número de 05 dispuestas una al costado de otra, 01 primaria de recepción del agua más densa y las otras 04 donde se sedimenta, el agua pasa por efecto de diferencia de altura entre cada una de las pozas (Proyecto Minero Estela - IGAC).

**Poza de Lodos.-** Estas pozas son construidas en áreas misceláneas para depositar el lodo de forma perenne, con material de relave grueso y mediano, conformando diques laterales de forma trapezoidal con talud 2:1. Los lodos acumulados en la poza son evacuados con una bomba de lodos hacia los diques conformados por relaves gruesos e intermedios, una vez completado su capacidad se conforma el terreno en forma de terrazas, manteniendo los taludes su respectivo ángulo de reposo, y su posterior revegetación.

A continuación, se especifica los detalles de las pozas en la Tabla 3.3 y Anexo 07.



Tabla 3.3: Detalle de pozas, volumen de agua y lodos

Unidad Operativa Minera Santiago – B						
Pozas	Alto (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Cantidad de pozas	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen total (m <sup>3</sup> )
Sedimentación	4	20	80	1	4 853	4 853
Clarificación	4	20	80	2	4 853	9 706
Bombeo	4	40	80	1	10 959	10 959
Volumen total						25 518
<b>Pozas auxiliares</b>						
Lodos 01	4	20	80	1	4 853	4 853
Lodos 02	4	55	93	1	18 173	18 173
Contingencias	4	80	100	1	29 204	14 848
Volumen total (m <sup>3</sup> )						37 874

Fuente: Expediente técnico, construcción de pozas de sedimentación y tratamiento de efluentes mineros por las cooperativas mineras del proyecto minero Estela. Anexo 06: plano y diseño de pozas.

### 3.4. Materiales, equipos y reactivos experimentales

#### 3.4.1. Materiales

- 10 vasos de precipitados de un litro.
- 10 probetas 100 ml.
- 01 pipeta de 1 ml con escala de 0.1 ml.
- 03 pipetas de 10 a 15 ml.
- 08 matraz de Erlenmeyer de 100 ml.
- 01 luna de reloj.
- 01 espátula.
- 08 jeringas de 10 ml.
- 08 jeringas de 20 ml.

### **3.4.2. Equipos**

- GPS.
- Correntómetro.
- Turbidímetro.
- pH metro.
- Multiparamétrico.
- Balanza analítica.
- Agitador magnético.

### **3.4.3. Reactivos**

- Cal (como coagulante - floculante).
- Ácido muriático y detergente (para limpieza de material vidrio).

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos se ha elaborado un sistema de cartillas y/o formatos impresos para cada actividad. La elaboración de cartillas y/o formatos es fácil y sencilla de anotar los datos. También utilizado una libreta de campo, un cronómetro, flexómetro, cámara fotográfica, recipientes de 1 litro, un balde 10 litros y un envase de 60 litros.

### **3.6. Procedimiento de experimento**

#### **3.6.1. Ubicación de punto de muestreo**

Ubicar puntos estratégicos, debe ser accesible y seguro para poder tomar la muestra, ver la Tabla 3.4 y Anexo 20.

Tabla 3.4: Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

Pto	Este	Norte	Altitud
Pto - 01	0446302	8375528	4868
Pto - 02	0446222	8375604	4865

### 3.6.2. Cronograma de toma de muestra

El cronograma de toma de muestra es cuatro fechas de muestreos diferentes. A continuación se muestra las fechas y los puntos de muestreo, ver la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Cronograma de toma de muestra

Fechas de Muestreo	Puntos de muestreo (Pto)	
	Pto - 01	Pto - 02
12/10/2016	Si	Si
21/10/2016	Si	No
21/12/2016	Si	No
16/01/2017	Si	Si

### 3.6.3. Procedimiento de toma de muestra

Para la presente investigación se tomaron muestras integradas y compuesta en dos puntos estratégicos (afluente y efluente de las pozas), a tiempos diferentes y en cuatro fechas diferentes, 01 muestra de 08 litros por cada una hora, 6 muestra por cada punto de muestreo haciendo un total de 48 litros por cada punto de muestreo; este proceso se realizó para cada fecha de muestreo.

Los datos adicionales se tomaron en los puntos de muestreo, así como: lectura de pH, turbidez, caudal, temperatura y otros, con el equipo y personal del Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas - UNAP, ver Anexo 11 y 21.

### 3.6.4. Pre tratamiento de muestra

Se realizó el pre tratamiento de la muestra, mediante el sistema de sedimentación gravimétrica con la única finalidad bajar la concentración de sólidos totales en suspensión y la turbidez, para que la muestra sea representativa y adecuada para el tratamiento. Las muestras fueron mezcladas en un solo recipiente polietileno previamente lavadas como mínimo tres veces con la misma agua residual el cual fue agitado y luego se dejó en reposo durante 10 minutos, posteriormente se separa el 20 % de agua residual; luego fue envasado, etiquetado, rotulado (N° de muestra, lugar, fecha, hora, cantidad y las coordenadas) y conservado en un envase polietileno (Anexo 09) para luego ser trasladado al Laboratorio de Control de Calidad – FIQ, donde se analizaron los siguientes parámetros: turbidez, SST, pH, entre otros, ver Anexo 12, 24, 25 y 26.

### 3.6.5. Desarrollo experimental por coagulación – floculación

Las investigaciones experimentales de coagulación – floculación con cal, han sido llevadas a cabo mediante las siguientes unidades.

- Sistema de sedimentación o decantación.
- Sistema o pruebas de jarras (*Jar-Test*).

**Sistema de sedimentación o decantación.-** Las pruebas de sedimentación o decantación se llevaron a cabo en los recipientes en el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas, las pruebas de realizaron en probetas graduada de 100 ml de capacidad.

$$\% \text{ Rendimiento de Sed.} = \left( \frac{\text{Sed.Inicial} - \text{Sed.Final}}{\text{Sed.Inicial}} \right) * 100 \quad (\text{Chura, Y. 2014, p.59}).$$

**Prueba de jarra (Jar-Test).-** La prueba de jarra es un procedimiento que se utilizó comúnmente en los laboratorios. Este método determina las condiciones de operación óptima generalmente para el tratamiento de aguas, la prueba de jarra permite ajustar el pH,

hacer variaciones en la dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y crear a pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial. Una prueba de jarras puede simular los procesos de coagulación-floculación que promueven la remoción de sólidos suspendidos y muestras orgánicas (Terroba, L. 2010, p. 68).

### 3.6.6. Procedimiento general

- Tener hoja de datos de seguridad (HDS) de cal viva, ver Anexo 10.
- Preparar y enumerar 08 vasos precipitados de 01 litro de capacidad, introducir en cada vaso un litro de agua residual a tratar.
- Determinar los siguientes parámetros de agua residual: pH, turbidez, sólidos totales en suspensión y otros, los cuales quedaron registrados.
- Pesar y determinar la dosis óptima de cal (coagulante-floculante) para preparar la lechada, lo cual debe ser determinada por las pruebas de jarras empezando para ello con dosis de 0.5 %, 1 %, 3 %, 5 %, 10 % y 25 % cal. Para seleccionar la dosis óptima de lechada se debe considerar la que tenga menor turbidez y más rápido.
- Iniciar la agitación de 240 revoluciones por minuto (rpm) por 12 minutos (min) después de agregadas las dosis (agitación rápida coagulación).
- Disminuir la velocidad de agitación a 25 rpm o la velocidad seleccionada por 3 minutos (agitación lenta floculación). Transcurrido este tiempo se levanta el agitador, teniendo cuidado de no romper flóculos, y se deja decantar entre 0 – 60 minutos.
- Una vez decantado se toma una pequeña cantidad de muestra de cada vaso de precipitados, aproximadamente 15 mililitros (ml) luego se procede a efectuar la medición de pH, turbidez, sólidos totales en suspensión y otros de cada vaso.
- Una vez obtenida la dosis se repiten los pasos, pero añadiendo la lechada obtenida a una cantidad de 3 ml, 4 ml, 5 ml, 6 ml, 7 ml, 8 ml, 9 ml y 10 ml a todos los vasos progresivamente para luego determinar el coagulante óptimo.
- Registrar los datos obtenidos en el cuadro de registro de ensayo.

### 3.7. Plan de tratamiento de los datos

#### 3.7.1. Método de análisis

Durante la ejecución de la investigación, se realizaron análisis de turbiedad (NTU), sólidos totales en suspensión (SST), potencial de hidrógeno (pH), entre otros por cuatro fechas diferentes de donde se obtiene los datos como en los Anexos 13, 14 y 15 respectivamente, mediante las pruebas de jarras con la adición de lechada de cal a diferentes medidas (en ml) a las aguas residuales tratar, para luego calcular la remoción de NTU, SST y pH; y así obtener la dosis óptima de cal (CaO); de igual forma la eficiencia de la dosis seleccionada, se obtuvo con los equipos que se muestran en la Tabla 3.6 y los Anexos 24, 25, 26 y 27.

Tabla 3.6: Métodos analíticos de turbidez, SST y pH

Nombre de la prueba	Código	Método
Turbiedad	WT 3 020	Turbidímetro
SST	DR/850	Colorímetro
pH	HI 98 130	Multiparametrico
Sedimentación	Probeta y jarra	Método gravimétrico

### 3.8. Diseño de tratamiento para la prueba de hipótesis

El diseño de tratamiento de las pruebas de jarras de acuerdo a las hipótesis se muestra en el Anexo 08.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Propiedades del agua residual

##### 4.1.1. Propiedades físicas del agua residual

La muestra fue analizada en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de la Ingeniería de Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno (UNAP), en donde se determinaron los valores de estado, color, sabor y aspecto; el cual se muestra en la Tabla 4.1 y ver el Anexo 12.

Tabla 4.1: Propiedades físicas del agua residual

Parámetros	Valores
Estado	Líquido
Color	Gris oscuro
Olor	Característico al H <sub>2</sub> O turbio
Aspecto	Líquido turbio

##### 4.1.2. Propiedades químicas del agua residual

La muestra fue analizada en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de la Ingeniería de Química – UNAP, ver Anexo 12. En donde se determinaron los valores de pH,

turbidez, sólidos totales en suspensión (SST), sólidos totales disueltos (STD), alcalinidad y la Conductividad eléctrica (C.E.); el cual se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Propiedades químicas del agua residual

Parámetros	Unidad	Resultado	Método
Acidez	pH	7,78	Potenciométrico
Turbidez	NTU	81 900,00	Colorimétrico
SST	mg/l	67 400,00	Colorimétrico
STD	mg/l	68,60	Electrométrico
Alcalinidad	mg/l	33,91	Volumétrico/Heliantina
C.E.	$\mu\text{S/cm}$	63,80	Electrométrico

## 4.2. Consideraciones preliminares para prueba experimental

### 4.2.1. Determinación de porcentaje de la pureza de CaO

Antes de realizar las pruebas experimentales se ha determinado el porcentaje (%) de la pureza de CaO en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de la Ingeniería de Química de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, que como resultado se obtuvo un 69,7 % de pureza, ver Anexo 13.

### 4.2.2. Determinación de velocidad de agitación para coagulación y floculación

Se ha realizado cuatro pruebas de jarras en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de la Ingeniería de Química con el agua residual de estudio, para lo cual el agitador magnético (VEL SCIENTIFICA – FP4) se ha programado a diferentes revoluciones por minuto (rpm): 120 revoluciones por minuto (rpm), 240 rpm y 360 rpm por 12 minutos.

De donde la velocidad óptima fue 240 rpm, ver Anexo 23. Esta velocidad es en todas las pruebas realizadas para la investigación.



#### 4.2.3. Determinación de tiempo de agitación para coagulación y floculación

El tiempo que se ha trabajado para las cuatro pruebas es de 12 minutos para coagulación y 3 minutos para floculación. Para que no haya errores de tiempo se programó en el mismo agitador magnético (VEL SCIENTIFICA – FP4) tal como menciona anteriormente 12 minutos (min) para coagulación y 3 min para floculación. Este tiempo se sigue en todas las pruebas realizadas para la investigación.

#### 4.2.4. Determinación de porcentaje óptimo de lechada de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )

Para determinar el porcentaje óptimo de la lechada, se ha preparado en 06 matraz de Erlenmeyer de 100 ml para obtener diferentes tipos de lechada, para lechada al 0,5 % se disuelve 0,5 gramos (g) de cal y 100 mililitros (ml) de agua potable, para lechada al 1 % se disuelve 1 g de cal y 100 ml de agua potable, para lechada al 3 % se disuelve 3 g de cal y 100 ml de agua potable, para lechada al 5 % se disuelve 5 g de cal y 100 ml de agua potable (Anexo 22), para lechada al 10 % se disuelve 10 g de cal y 100 ml de agua potable, para la lechada al 25 % se disuelve 25 g de cal y 100 ml de agua potable; ver la Tabla 4.3 y los Anexo 14, 15 y 16.

Una vez preparado la lechada, para 1 litro de agua residual se inyecta 10 ml de lechada progresivamente a los 06 recipiente para luego coagular, flocular y posterior sedimentación. Finalmente se extrae 15 ml de agua esclarecida a cada 15 minutos para poder determinar la turbidez y así determinar el porcentaje de cal óptima.

##### Base de cálculo:

Volumen de agua a tratar (ml)	= 1 000
Concentración inicial (NTU)	= 81 900,00
Velocidad de agitación (rpm)	= 240
Método de análisis de NTU	= Colorímetro.

Tabla 4.3: Resultado de % óptimo de  $\text{Ca(OH)}_2$  mediante la turbidez

N° Jarras	Dosis		Tiempo(min)				
	Lechada (ml)	CaO (% = g/ml)	0	15	30	45	60
1	10	0,5	81 900	980	850	820	810
2	10	1	81 900	181	127	112	103
3	10	3	81 900	16	11	10	9
4	10	5	81 900	9	5	3	1
5	10	10	81 900	3	1	0	0
6	10	25	81 900	0	0	0	0

La Tabla 4.3 muestra el resultado de la prueba de jarras en términos de turbiedad para diferentes tiempos. Se puede observar que la dosis que más remueve el material suspendido o presenta menos turbidez es al 5 %, 10 % y 25 % de lechada. Por el costo de coagulante-floculante se opta por la dosis al 5 % de lechada.

Tabla 4.4: Resultado por ecuación lineal y  $R^2$  de % óptimo  $\text{Ca(OH)}_2$

N° Jarras	Dosis		Según el programa Excel	
	Lechada (ml)	CaO (g/l)	Valor de ecuación	Valor de $R^2$
1	10	0,5	$y = -54x + 1\ 000$	$R^2 = 0,7881$
2	10	1	$y = -24,9x + 193$	$R^2 = 0,8468$
3	10	3	$y = -2,2x + 17$	$R^2 = 0,8345$
4	10	5	$y = -2,6x + 11$	<b><math>R^2 = 0,9657</math></b>
5	10	10	$y = -x + 3,5$	$R^2 = 0,8333$
6	10	25	0	0

La Tabla 4.4 y la Figura 4.1 muestra el resultado de ecuación de lineal y  $R^2$  sobre % óptimo  $\text{Ca(OH)}_2$  en términos de turbiedad a diferentes tiempos. Se puede observar que la jarra N° 4 y la dosis al 5 % de cal, presenta menor turbidez y según el  $R^2 = 0,9657$  es lo que más aproxima a 1, lo cual indica que es la que tiene menor error. De donde también podemos concluir que dosis óptima es al 5 % de  $\text{Ca(OH)}_2$  que equivale a 5 gramos de cal por litro de aguas residuales.

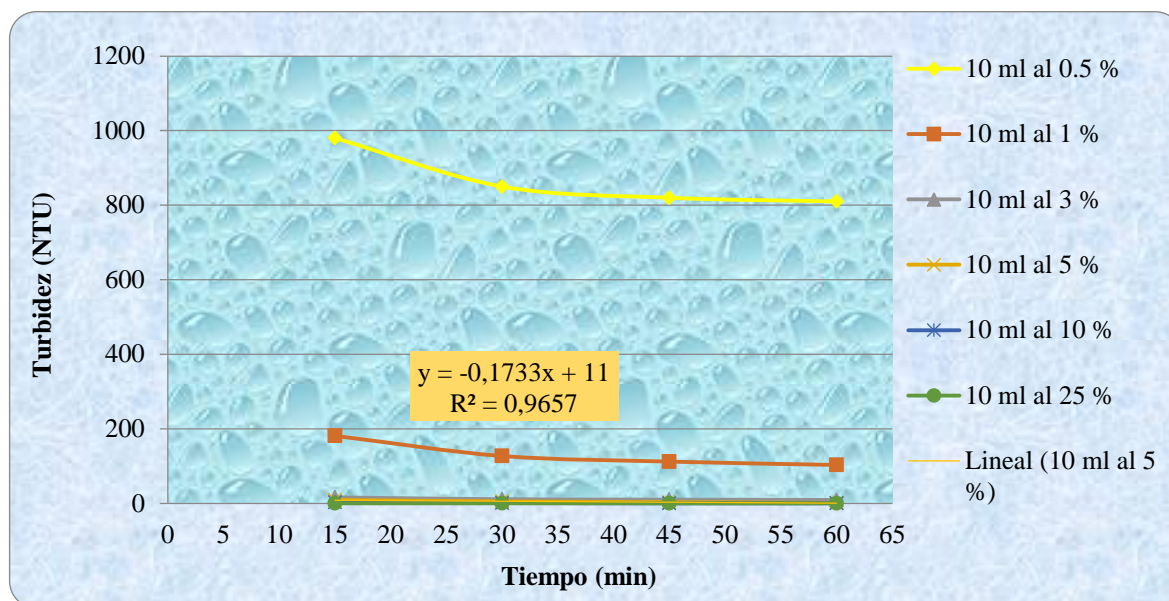


Figura 4.1: Figura de porcentaje óptimo de Ca(OH)<sub>2</sub>, turbidez & tiempo

### 4.3. Determinación de porcentaje de agua esclarecida mediante sedimentación

Para poder determinar el porcentaje (%) de agua esclarecida mediante sedimentación, se ha utilizado en dos tipos de recipientes como: en probetas de 100 ml con medidas de 1 ml y en vasos precipitados de 1 litro. La preparación de lechada de cal es al 5 % para ambos, la cantidad de dosis se muestra en las Tablas 4.5 y 4.7. La cantidad de agua esclarecida se toma cada 15 minutos hasta llegar a 60 minutos; luego de tener los datos se convierte al porcentaje que viene a ser de la siguiente manera:

$$\%AE = \left( \frac{CATi - CATf}{CATi} \right) * 100$$

Donde:

% AE : Porcentaje de agua esclarecida.

CATi : Cantidad de agua turbia inicial.

CATf : Cantidad de agua turbia final.

### 4.3.1. Determinación de agua esclarecida por sedimentación en probetas

Para determinar el agua esclarecida mediante de sedimentación gravimétrica continúa en probetas (ver Tabla 4.5) y se tiene las bases de cálculos siguientes:

#### Bases de cálculo:

Volumen de agua a tratar (ml)	= 100
Concentración inicial (ml)	= 0
% de sedimentación en:	= Probetas.
Método de análisis de sedimentación	= Sedimentación gravimétrica.

Tabla 4.5: Resultado de % de agua esclarecida al 5 % de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

N° Jarras	Dosis		Tiempo(min)					Tiempo(min)			
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	0	15	30	45	60	15	30	45	60
1	0,3	0,015	100	97	90	77,5	68	3	10	22,5	33
2	0,4	0,020	100	96	87,5	77	66	4	12,5	23	34
3	0,5	0,025	100	96	88	76	64	4	12	24	36
4	0,6	0,030	100	95	85	72	60	5	15	28	40
5	0,7	0,035	100	91	80	67	59,5	9	20	33	40,5
6	0,8	0,040	100	90	77	63	58	10	23	37	42
7	0,9	0,045	100	91	77	66	58,5	9	23	34	41,5
8	1,0	0,050	100	92	80	65	59,5	8	20	35	40,5

La Tabla 4.5 es el resultado de la conversión de porcentaje de agua esclarecida con la adición de lechada de cal al 5 %, se obtiene a la jarra N° y la dosis de 0,6 ml/l que equivale a 0,03 g/l para un total de 100 mililitros de agua residual de relaves mineros de donde se ha logrado recuperar 40 % de agua esclarecida en un tiempo de 60 minutos. Este interpretación es de acuerdo a la Tabla 4.6 y de la Figura 4.2; que esta envase al tiempo y la cantidad de agua esclarecida.

Tabla 4.6: Resultado del % de agua esclarecida en probetas según R<sup>2</sup>

N° Jarras	Dosis		Según el programa Excel.	
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	Valor de ecuación	Valor de R <sup>2</sup>
1	0,3	0,015	$y = 9,95x - 8$	R <sup>2</sup> = 0,9897
2	0,4	0,020	$y = 10,05x - 6,75$	R <sup>2</sup> = 0,9967
3	0,5	0,025	$y = 10,8x - 8$	R <sup>2</sup> = 0,9918
4	0,6	0,030	$y = 11,8x - 7,5$	<b>R<sup>2</sup> = 0,9974</b>
5	0,7	0,035	$y = 10,75x - 1.25$	R <sup>2</sup> = 0,9899
6	0,8	0,040	$y = 11x + 0.5$	R <sup>2</sup> = 0,9665
7	0,9	0,045	$y = 10,85x - 0.25$	R <sup>2</sup> = 0,9824
8	1,0	0,050	$y = 11,25x - 2.25$	R <sup>2</sup> = 0,9718

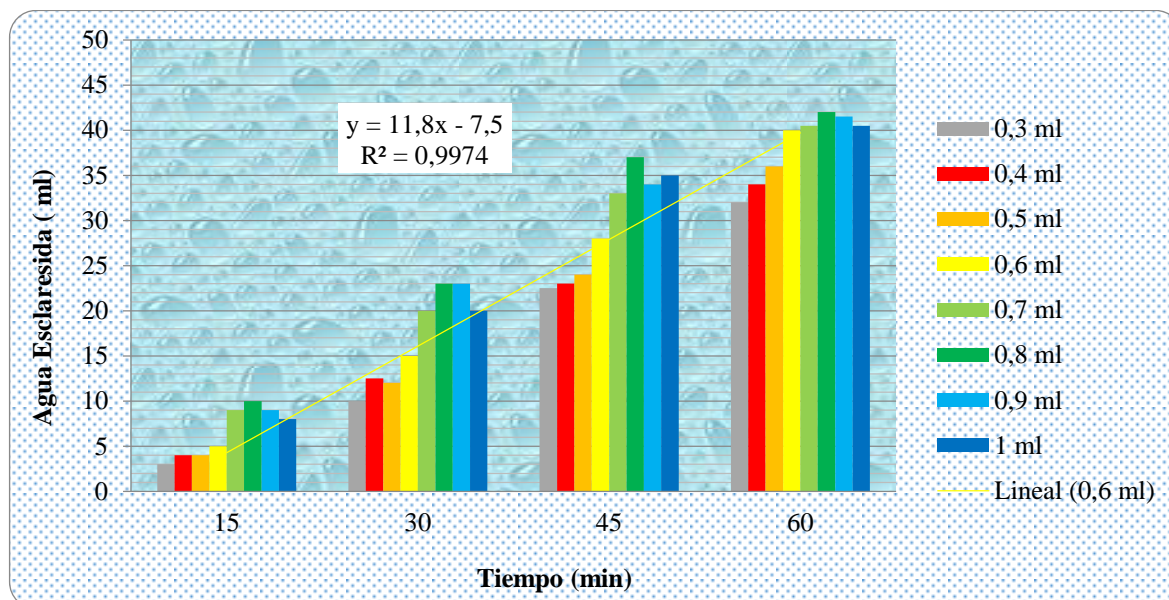


Figura 4.2: Determinación de % de agua esclarecida por probetas

La Tabla 4.6 y la Figura 4.2 muestra el resultado de ecuación de lineal y R<sup>2</sup> en base los datos porcentaje de agua esclarecida a diferentes tiempos y a diferentes dosis (ml y g/l). R<sup>2</sup> = 0,9974 es lo que más aproxima a 1, lo cual indica que es la que tiene menor error. De donde la jarra N° 4 es la dosis óptima 0,06 ml de lechada al 5 %, que equivale a 0.03 gramos de cal por litro de aguas residuales, mediante sedimentación gravimétrica en probetas.

#### 4.3.2. Determinación de agua esclarecida por sedimentación en vasos precipitados

Para determinar el agua esclarecida mediante de sedimentación en vasos precipitados se ha realizado en 8 números de jarras a donde se agrega diferentes ml de lechada al 5 % y los muestreos se realizan a cada 15 minutos hasta por 60 minutos (ver Tabla 4,7). Para lo cual se tiene las bases de cálculos siguientes:

##### Bases de cálculo:

Volumen de agua a tratar (ml)	= 1 000
Concentración inicial (ml)	= 0
% de sedimentación en:	= Vasos precipitados.
Método de análisis de sedimentación	= Sedimentación gravimétrica.

Tabla 4.7: Resultado de % de agua esclarecida con una dosis al 5 %

N° Jarras	Dosis		Tiempo(min)					Tiempo(min)			
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	0	15	30	45	60	15	30	45	60
1	3	0,15	1000	810	695	580	510	19	31	42	49
2	4	0,20	1000	805	680	575	495	20	32	43	51
3	5	0,25	1000	770	650	570	490	23	35	43	51
4	6	0,30	1000	775	660	560	485	23	34	44	52
5	7	0,35	1000	780	665	550	480	22	34	45	52
6	8	0,40	1000	760	660	555	495	24	34	45	51
7	9	0,45	1000	755	655	540	480	25	35	46	52
8	10	0,50	1000	750	650	540	480	25	35	46	52

La Tabla 4.7 muestra el resultado de la conversión de porcentaje de agua esclarecida con la adición de lechada de cal al 5 %, la dosis de 6 ml/l que equivale a 0,3 g/l para un total de 1 litro de agua residual de relaves mineros de donde se ha logrado recuperar 52 % de agua esclarecida en un tiempo de 60 minutos. Esta interpretación es de acuerdo a la Tabla 4.8 y de la Figura 4.3; que esta envase al tiempo y la cantidad de agua esclarecida.

Tabla 4.8: Resultado del % de agua esclarecida en vasos precipitados según R<sup>2</sup>

N° Jarras	Dosis		Según el programa Excel	
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	Valor de ecuación	Valor de R <sup>2</sup>
1	3	0,15	$y = 10,15x + 9,75$	R <sup>2</sup> = 0,9883
2	4	0,20	$y = 10,35x + 10,25$	R <sup>2</sup> = 0,9906
3	5	0,25	$y = 9,2x + 15$	R <sup>2</sup> = 0,9888
4	6	0,30	$y = 9,7x + 13,75$	<b>R<sup>2</sup> = 0,9915</b>
5	7	0,35	$y = 10,15x + 12,75$	R <sup>2</sup> = 0,9883
6	8	0,40	$y = 9x + 15,75$	R <sup>2</sup> = 0,9872
7	9	0,45	$y = 9,4x + 15,75$	R <sup>2</sup> = 0,9856
8	10	0,50	$y = 9,2x + 16,5$	R <sup>2</sup> = 0,9865

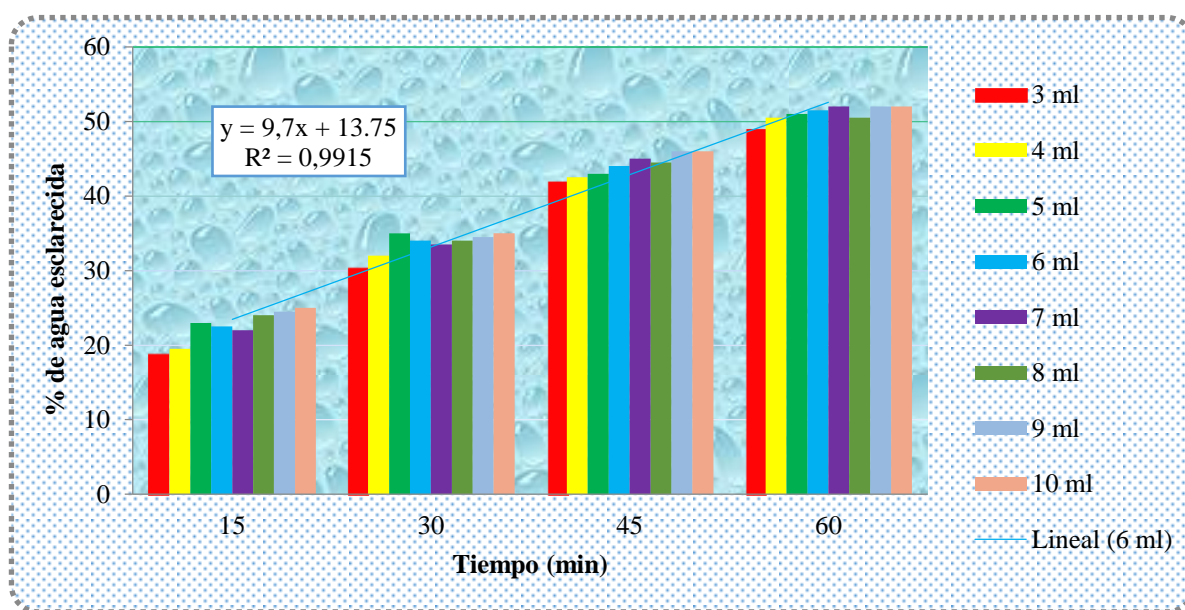


Figura 4.3: Determinación de % de agua esclarecida en vasos precipitados

La Tabla 4.8 y la Figura 4.3 muestra el resultado de ecuación de lineal y R<sup>2</sup> en base los datos porcentaje de agua esclarecida a diferentes tiempos y a diferentes dosis (ml y g/l). R<sup>2</sup> = 0,9915 es lo que más aproxima a 1, lo cual indica que es la que tiene menor error. De donde la jarra N° 4 es la dosis óptima 0,6 ml de lechada de cal al 5 %, que equivale a 0.3 gramos de cal por litro de aguas residuales, mediante sedimentación gravimétrica en vasos precipitados.

#### 4.4. Determinación de la dosis óptima de CaO en ml/l y g/l

La dosis óptima de CaO, se realizó en el laboratorio de monitoreo y evaluación ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas de UNAP, donde se obtiene los resultados de turbidez, SST y pH como se muestra en las Tablas 4.9, 4.11 y 4.13 y Anexos 17, 18 y 19.

##### 4.4.1. Determinación de la dosis mediante turbidez

Los cuadros que a continuación se muestran, llevan consignados los resultados de cada ensayo de turbidez a diferentes tiempos y a diferentes dosis de cal. Este análisis de muestra de aguas residuales se le realizó por cuatro fechas (ver Anexo 17); luego se ha calculado un promedio, el cual se muestra en la Tabla 4.9 y como bases de cálculo se tiene volumen de agua a tratar 1 000 ml, turbidez inicial 81 900,00 NTU, método de análisis de turbidímetro.

Tabla 4.9: Resultado de turbidez al 5 % de Ca(OH)<sub>2</sub>

N° Jarras	Dosis		Tiempo (min)				
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	0	15	30	45	60
1	3	0,15	81 900	319,25	197,65	153,13	126,03
2	4	0,20	81 900	94,78	67,33	54,15	42,90
3	5	0,25	81 900	52,03	35,51	30,55	26,65
4	6	0,30	81 900	31,94	26,10	24,19	<b>19,39</b>
5	7	0,35	81 900	24,48	17,93	13,29	12,24
6	8	0,40	81 900	16,64	12,86	10,44	8,98
7	9	0,45	81 900	11,81	8,23	6,95	6,23
8	10	0,50	81 900	6,52	4,27	3,23	3,02

La Tabla 4.9 muestra el resultado de las pruebas de la turbidez con la lechada de cal al 5 %; de donde se obtiene 19,39 NTU para un tiempo de 60 minutos. Esta interpretación es de acuerdo a la Tabla 4.10 y de la Figura 4.4; que esta envase al tiempo y la disminución de la turbidez de las aguas residuales.



Tabla 4.10: Resultado por ecuación lineal y R<sup>2</sup> de dosis mediante turbidez

N° Jarras	Dosis		Programa Excel.	
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	Valor de ecuación	Valor de R <sup>2</sup>
1	3	0,15	$y = -62,42x + 355,06$	R <sup>2</sup> = 0,8899
2	4	0,20	$y = -16,882x + 106,99$	R <sup>2</sup> = 0,9511
3	5	0,25	$y = -8,108x + 56,455$	R <sup>2</sup> = 0,8789
4	6	0,30	$y = -3,958x + 35,299$	<b>R<sup>2</sup> = 0,968</b>
5	7	0,35	$y = -4,3748x + 28,123$	R <sup>2</sup> = 0,9058
6	8	0,40	$y = -2,5395x + 18,58$	R <sup>2</sup> = 0,9597
7	9	0,45	$y = -1,8028x + 12,811$	R <sup>2</sup> = 0,8811
8	10	0,50	$y = -1,1535x + 7,1412$	R <sup>2</sup> = 0,865

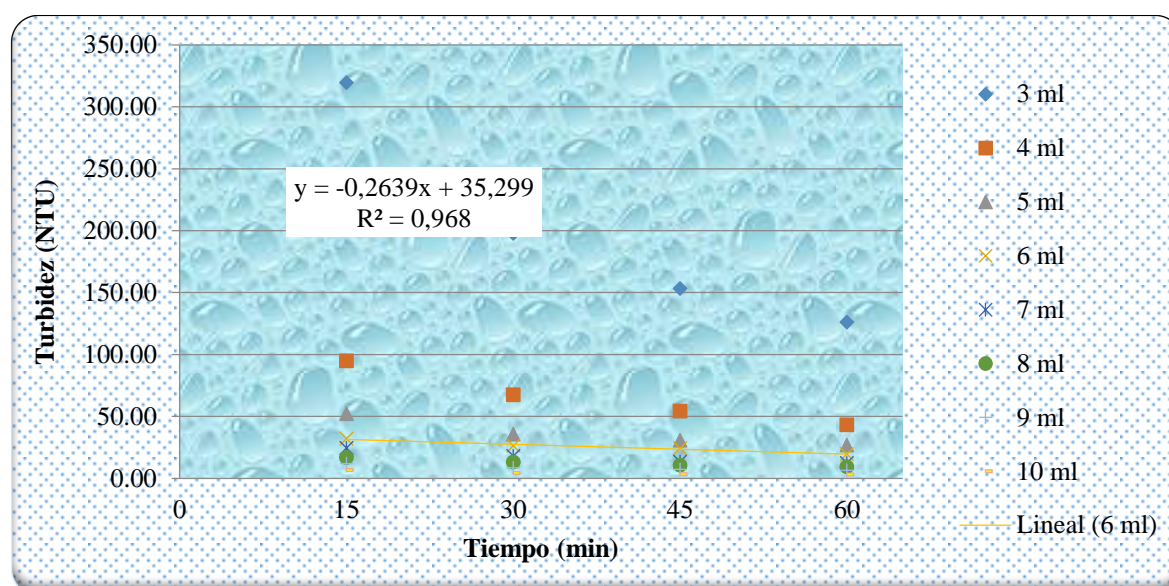


Figura 4.4: Figura de la dosis óptima en ml, turbidez & tiempo

La Tabla 4.10 y la Figura 4.4 muestra el resultado de ecuación de lineal y R<sup>2</sup> sobre % óptimo Ca(OH)<sub>2</sub> en términos de turbiedad a diferentes tiempos y a diferentes dosis. Según el R<sup>2</sup> = 0,968 es lo que más aproxima a 1, que es la jarra N° 4, lo cual indica que la dosis que ha trabajado mejor es la de 6 ml de lechada a 5 % que equivale a 0,30 g/l, logrando 19,39 NTU según la Tabla 4.9 para un tiempo de 60 min, el cual está dentro de los estándares nacionales del agua, ver Anexo 28.

#### 4.4.2. Determinación de la dosis mediante SST

Las tablas que a continuación se muestran, llevan consignados los resultados de cada ensayo o muestreo de SST a diferentes tiempos y a diferentes dosis de cal (lechada). Este análisis se realizó cuatro veces o cuatro fechas (Anexo 18), luego se ha calculado el promedio como se muestra en la Tabla 4.11.

##### Base de cálculo:

Volumen de agua a tratar (ml)	= 1 000
Concentración inicial (mg/l)	= 67 400,00
Tiempo de análisis (min)	= Cada 15
Velocidad de agitación (rpm)	= 240 y 50
Tiempo de agitación (min)	= 12 y 3
Método de análisis de SST	= Colorímetro.

Tabla 4.11: Resultado de SST al 5 % de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

N° Jarras	Dosis		Tiempo (min)				
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	0	15	30	45	60
1	3	0,15	67 400	127,13	104,88	86,25	76,88
2	4	0,20	67 400	51,25	40,50	34,50	30,75
3	5	0,25	67 400	33,13	27,63	23,88	21,38
4	6	0,30	67 400	28,25	23,75	20,50	<b>18,25</b>
5	7	0,35	67 400	21,63	17,38	15,13	13,75
6	8	0,40	67 400	17,00	14,25	12,50	11,50
7	9	0,45	67 400	13,38	11,13	9,75	9,00
8	10	0,50	67 400	11,00	8,50	6,75	6,00

La Tabla 4.11 muestra el resultado de las pruebas de la turbidez con la lechada de cal al 5 %; de donde se obtiene 18,25 mg/l; para un tiempo de 60 minutos. Esta interpretación es de acuerdo a la Tabla 4.12 y de la Figura 4.5; que esta envase al tiempo y la disminución de SST de las aguas residuales.

Tabla 4.12: Resultado por ecuación lineal y R<sup>2</sup> de dosis mediante SST

N° Jarras	Dosis		Según el programa Excel.	
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	Valor de ecuación	Valor de R <sup>2</sup>
1	3	0,15	y = -16,938x + 141,13	R <sup>2</sup> = 0,9709
2	4	0,20	y = -6,75x + 56,125	R <sup>2</sup> = 0,9477
3	5	0,25	y = -3,9x + 36,25	R <sup>2</sup> = 0,9711
4	6	0,30	y = -3,325x + 31	<b>R<sup>2</sup> = 0,9776</b>
5	7	0,35	y = -2,5875x + 23,438	R <sup>2</sup> = 0,9402
6	8	0,40	y = -1,825x + 18,375	R <sup>2</sup> = 0,9559
7	9	0,45	y = -1,45x + 14,438	R <sup>2</sup> = 0,9489
8	10	0,50	y = -1,675x + 12,25	R <sup>2</sup> = 0,948

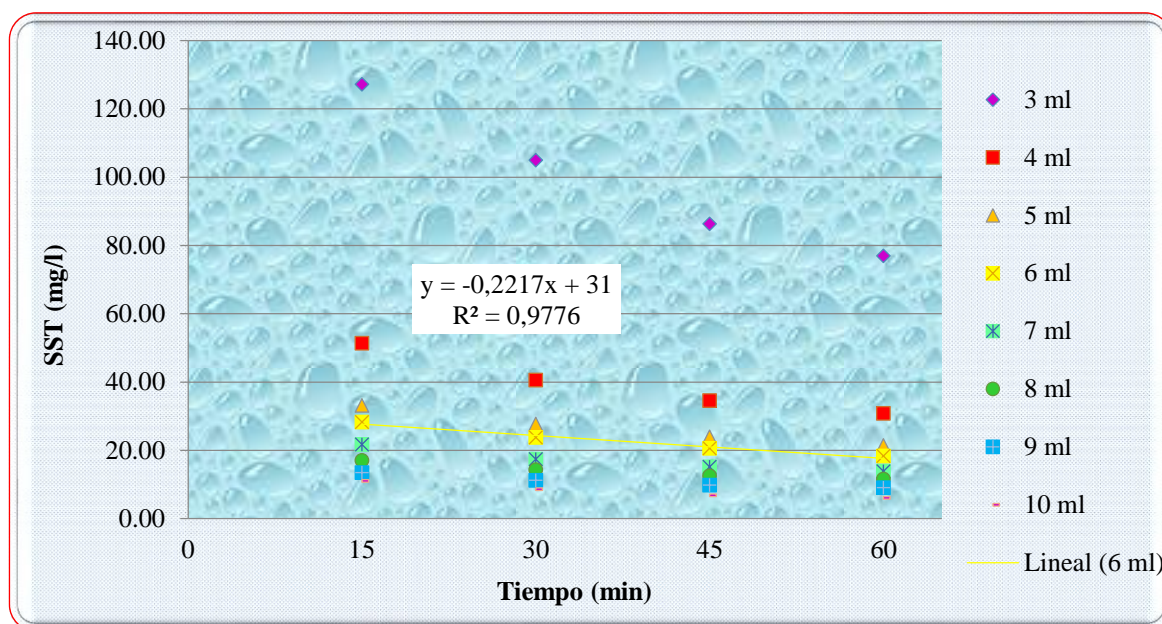


Figura 4.5: Figura de la dosis óptima en ml, SST & tiempo

La Tabla 4.12 y la Figura 4.5 muestra el resultado de ecuación de lineal y R<sup>2</sup> de % óptimo Ca(OH)<sub>2</sub> en términos de SST a diferentes tiempos y a diferentes dosis. Según el R<sup>2</sup> = 0,9776 es lo que más aproxima a 1, que es la jarra N° 4, lo cual indica que la dosis que ha trabajado mejor es la de 6 ml de lechada a 5 % que equivale a 0,30 g/l, logrando 18,25 mg/l según la Tabla 4.11 para un tiempo de 60 min, el cual está dentro de los límites máximos permisibles, ver Anexo 29.

#### 4.4.3. Determinación de la dosis mediante pH

Las tablas que a continuación se muestran, llevan consignados los resultados de cada ensayo o muestreo de pH a diferentes tiempos y a diferentes dosis de cal (lechada). Este análisis se realizó cuatro veces o cuatro fechas (Anexo 19), luego se ha calculado el promedio como se muestra en la Tabla 4.13; y se tiene las siguientes bases de cálculo:

##### Base de cálculo:

Volumen de agua a tratar (ml)	= 1 000
Concentración inicial (pH)	= 7,78
Tiempo de análisis (min)	= Cada 15
Velocidad de agitación (rpm)	= 240 y 50
Tiempo de agitación (min)	= 12 y 3
Método de análisis de SST	= Multiparamétrico.

Tabla 4.13: Resultado de pH al 5 % de  $\text{Ca(OH)}_2$

N° Jarras	Dosis		Tiempo (min)				
	Lechada (ml)	CaO (g/l)	0	15	30	45	60
1	3	0,15	7,78	10,24	10,28	10,26	10,22
2	4	0,20	7,78	10,55	10,55	10,50	10,49
3	5	0,25	7,78	10,82	10,83	10,83	10,82
4	6	0,30	7,78	10,99	11,06	11,09	<b>11,08</b>
5	7	0,35	7,78	11,10	11,10	11,14	11,15
6	8	0,40	7,78	11,20	11,25	11,32	11,34
7	9	0,45	7,78	11,36	11,39	11,42	11,45
8	10	0,50	7,78	11,45	11,54	11,58	11,59

La Tabla 4.13 muestra el resultado de las pruebas de la turbidez con la lechada de cal al 5 %; de donde se obtiene 11,08 de pH; para un tiempo de 60 minutos. Esta interpretación es de acuerdo a la Tabla 4.14 y de la Figura 4.6; que esta envase al tiempo y el pH de las aguas residuales.

Tabla 4.14: Resultado por ecuación lineal y R<sup>2</sup> de dosis mediante pH

N° Jarras	Dosis		Según el Programa Excel.	
	Lechada (ml/l)	CaO (g/l)	Valor de Ecuación	Valor de R <sup>2</sup>
1	3 ml	0,15	$y = -0,0181x^2 + 0,0829x + 10,179$	R <sup>2</sup> = 0,9683
2	4 ml	0,20	$y = -0,0056x^2 + 0,0054x + 10,549$	R <sup>2</sup> = 0,8886
3	5 ml	0,25	$y = -0,0056x^2 + 0,0284x + 10,794$	R <sup>2</sup> = 0,9783
4	6 ml	0,30	$y = -0,0212x^2 + 0,1382x + 10,869$	<b>R<sup>2</sup> = 0,9984</b>
5	7 ml	0,35	$y = 0,0038x^2 + 0,0002x + 11,094$	R <sup>2</sup> = 0,8049
6	8 ml	0,40	$y = -0,0088x^2 + 0,0937x + 11,106$	R <sup>2</sup> = 0,9785
7	9 ml	0,45	$y = 1E-14x^2 + 0,031x + 11,328$	R <sup>2</sup> = 0,9959
8	10 ml	0,50	$y = -0,0187x^2 + 0,1397x + 11,33$	R <sup>2</sup> = 0,9983

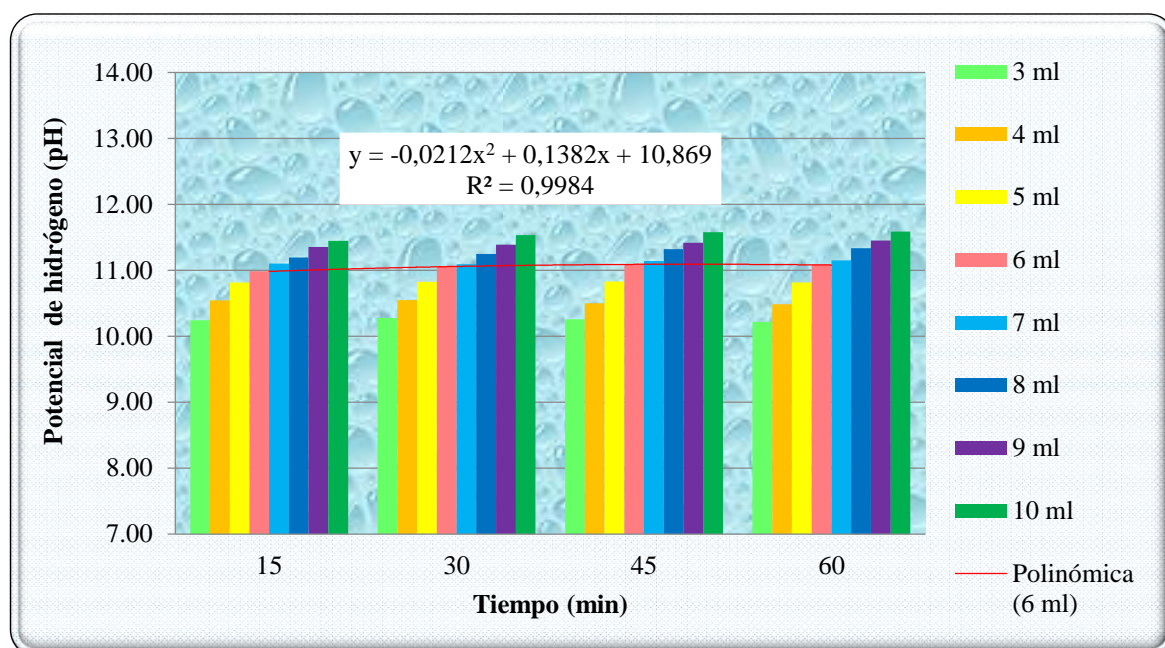


Figura 4.6: Figura de la dosis óptima en ml, pH & tiempo

La Tabla 4.14 y la Figura 4.6 muestra el resultado de ecuación de lineal y R<sup>2</sup> de % óptimo Ca(OH)<sub>2</sub> en términos de pH a diferentes tiempos y a diferentes dosis. Según el R<sup>2</sup> = 0,9984 es lo que más aproxima a 1, que es la jarra N° 4, lo cual indica que la dosis que ha trabajado mejor es la de 6 ml de lechada a 5 % que equivale a 0,30 g/l, logrando 11,82 de pH según la Tabla 4.13 para un tiempo de 60 min, el cual está fuera de los límites máximos permisibles de las aguas, ver Anexo 29.

#### 4.4.4. La evaluación de la dosis óptima

La evaluación de la dosis óptima para el tratamiento de aguas residuales, simulado mediante las pruebas de jarras con una lechada de cal al 5 %, bajo diferentes dosis (ml y g/l) para obtener los resultados de los parámetros de turbidez, SST y pH; para luego calcular en promedio de valor de  $R^2$  como se muestra en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15: Resultados de dosis óptimo según la ecuación lineal y  $R^2$

Parámetros	Dosis		Según el programa Excel	
	ml/l	g/l	Valor de ecuación	Valor de $R^2$
Turbidez	6	0,30	$y = -3,958x + 35,299$	$R^2 = 0,968$
SST	6	0,30	$y = -3,325x + 31$	$R^2 = 0,9776$
pH	6	0,30	$y = -0,0212x^2 + 0,1382x + 10,869$	$R^2 = 0,9984$
Promedio	6	0,30	-----	$R^2 = 0,9813$

En la Tabla 4.15 se muestra los resultados de los parámetros de turbidez, SST y pH; donde el valor promedio de  $R^2 = 0,9813$ , el cual indica que la dosis óptima es 6 ml de lechada al 5 % equivale a 0,30 g/l de cal.

#### 4.5. Determinación de remoción de turbidez, SST y pH utilizando CaO

La determinación remoción de turbidez, SST y pH de agua residual comprende el análisis cuantitativo, los resultados se muestran en las Tablas 4.16, 4.17 y 4.18. Para determinar el porcentaje de remoción de turbidez, SST y pH se calcula con la siguiente fórmula mostrada:

$$\text{Remoción de (\% NTU)} = \left( \frac{NTU_i - NTU_f}{NTU_i} \right) * 100 \text{ (Canaza, \& Chambi, 2013)}$$

Donde:

% NTU : Remoción de turbidez.

NTU<sub>i</sub> : Concentración inicial de turbidez.

NTU<sub>f</sub> : Concentración final de turbidez (60 min).

#### 4.5.1. Remoción de la turbidez utilizando CaO para una dosis óptima

El porcentaje de remoción de turbiedad (NTU) de las aguas residuales se realizó mediante sedimentación, utilizando como coagulante-floculante la cal. Para poder determinar el porcentaje de turbidez se ha utilizado los datos de promedio de turbidez (Anexo 17), de donde se rescata la turbidez inicial (cero minutos) y la turbidez final (60 minutos) para luego calcularla remoción de turbidez. La remoción de la turbiedad de las aguas residuales comprende el análisis cuantitativo, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.16 y la Figura 4.7.

Tabla 4.16: Resultado de % de remoción de turbidez

N° Jarras	Dosis		Turbiedad i (NTU)	Turbiedad f (NTU)	% de Remoción
	Ca(OH) <sub>2</sub> (ml/l)	CaO (g/l)			
1	3	0,15	81 900	126,03	99,846
2	4	0,20	81 900	42,90	99,948
3	5	0,25	81 900	26,65	99,967
4	6	0,30	81 900	19,39	<b>99,976</b>
5	7	0,35	81 900	12,24	99,985
6	8	0,40	81 900	8,98	99,989
7	9	0,45	81 900	6,23	99,992
8	10	0,50	81 900	3,02	99,996

La Tabla 4.16 y la Figura 4.7; muestra el resultado de la remoción de la turbidez, donde indica que la remoción de turbidez para la dosis óptima seleccionada anteriormente de 6 ml de lechada de cal al 5 % que equivale a 3 g/l de cal, la remoción es 99,976 % calculado para un tiempo final de remoción de 60 minutos como se muestra en la jarra N° 4 de la tabla indicada.

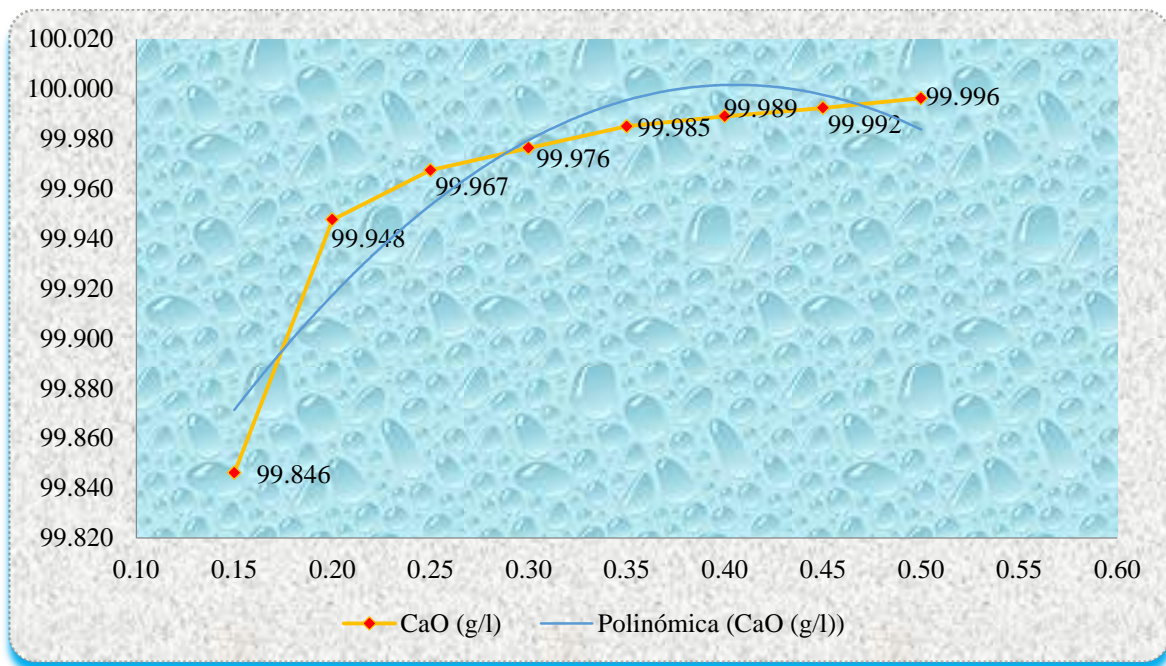


Figura 4.7: Porcentaje de remoción de turbidez & dosis CaO (g/l)

#### 4.5.2. Remoción de SST utilizando CaO para una dosis óptima

El porcentaje de remoción de Sólidos Totales en Suspensión (SST) de las aguas residuales se realizó mediante sedimentación, utilizando como coagulante - floculante la cal. Para poder determinar el porcentaje de sólidos totales en suspensión se ha utilizado los datos de promedio de sólidos totales en suspensión (Anexo 18), de donde se rescata los datos de SST inicial y los SST final para luego calcular.

La remoción de SST de las aguas residuales comprende el análisis cuantitativo de la concentración de SST en los envases de muestra o jarras de aguas residuales a tratar por sedimentación para cada unidad de SST inicial y SST final, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.17 y Figura 4.8 y para calcular la remoción de SST la siguiente fórmula:

$$\text{Remoción de (\% SST)} = \left( \frac{SST_i - SST_f}{SST_i} \right) * 100$$

Donde:

% SST : Remoción de turbidez.



SSTi : Solidos totales en suspensión inicial

SSTf : Solidos totales en suspensión final (60 min).

Tabla 4.17: Resultado de % de remoción de SST

N° Jarras	Dosis		SST i (mg/l)	SST f (mg/l)	% de Remoción
	Ca(OH) <sub>2</sub> (ml/l)	CaO (g/l)			
1	3	0,15	67 400	76,88	99,886
2	4	0,20	67 400	30,75	99,954
3	5	0,25	67 400	21,38	99,968
4	6	0,30	67 400	18,25	<b>99,973</b>
5	7	0,35	67 400	13,75	99,980
6	8	0,40	67 400	11,50	99,983
7	9	0,45	67 400	9,00	99,987
8	10	0,50	67 400	6,00	99,991

La Tabla 4.17 y la Figura 4.8, indican que la remoción de SST para la dosis óptima seleccionada anteriormente de 6 ml de lechada de cal al 5 %, es 99,973 % remoción en 60 minutos como se muestra en la jarra N° 4 de la tabla indicada.

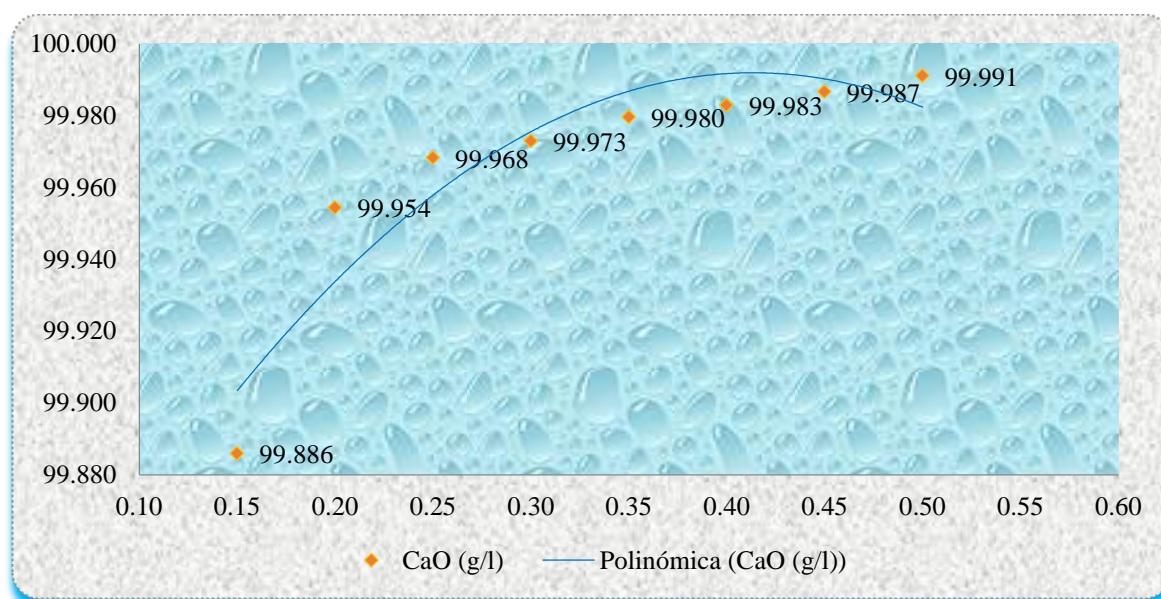


Figura 4.8: Porcentaje de remoción de SST & dosis CaO (g/l)

#### 4.5.3. Remoción de pH utilizando CaO para una dosis óptima

El porcentaje de remoción de Potencial de Hidrogeno (pH) de las aguas residuales se realizó mediante sedimentación, utilizando como coagulante-floculante la cal. Para poder determinar el porcentaje de pH se ha utilizado los datos de promedio de pH (Anexo 19), de donde se rescata los datos de pH inicial y el pH final para luego calcular. La remoción de pH de las aguas residuales comprende el análisis cuantitativo para cada unidad de pH inicial y pH final, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.18.

$$\text{Remoción de (\% pH)} = \left( \frac{pHi - pHf}{pHi} \right) * 100$$

Donde:

% pH : Remoción de potencial de hidrógeno.

pHi : Potencial de hidrógeno inicial

pHf : Potencial de hidrógeno final (60 min).

Tabla 4.18: Resultado de % de remoción de pH

N° Jarras	Dosis		pH inicial	pH final	% de Remoción
	Ca(OH) <sub>2</sub> (ml/l)	CaO (g/l)			
1	3	0,15	7,78	10,22	68,605
2	4	0,20	7,78	10,49	65,231
3	5	0,25	7,78	10,82	60,958
4	6	0,30	7,78	11,08	57,551
5	7	0,35	7,78	11,15	56,684
6	8	0,40	7,78	11,34	54,274
7	9	0,45	7,78	11,45	52,796
8	10	0,50	7,78	11,59	51,028

La Tabla 4.18 y la Figura 4.8; indican que la remoción de pH para la dosis óptima seleccionada anteriormente de 6 ml de lechada de cal al 5 %, es 57,551 % remoción en 60 minutos como se muestra en la jarra N° 4 de la tabla indicada.

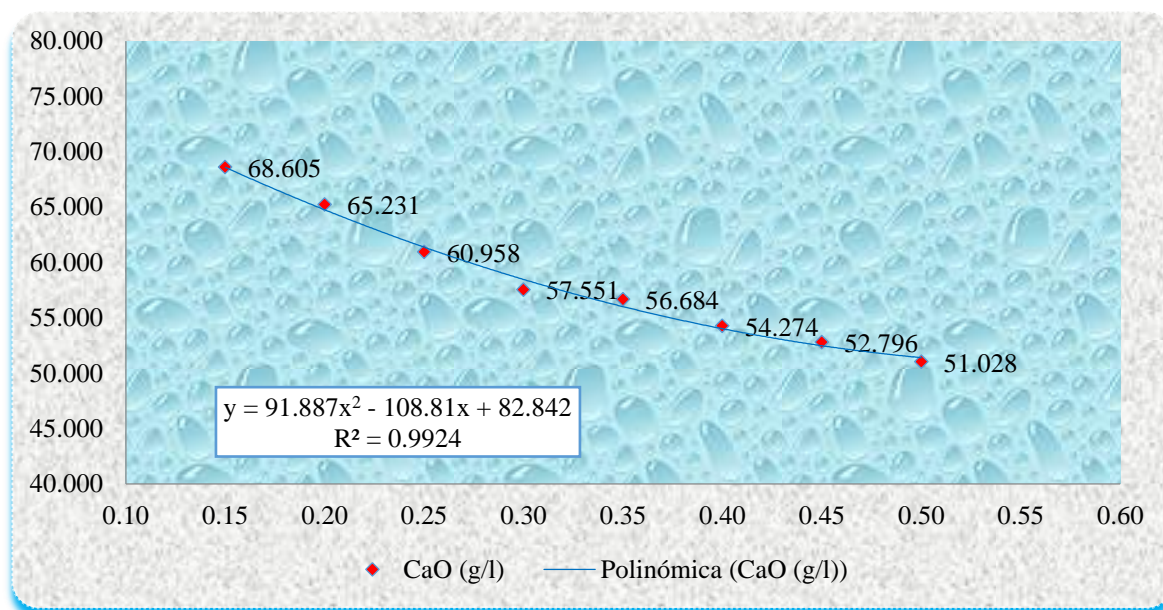


Figura 4.9: Porcentaje de remoción de pH & dosis CaO (g/l)

#### 4.5.4. Evaluación de remoción de turbidez, SST y pH

La evaluación de porcentaje (%) de remoción de turbidez, SST y pH de las aguas residuales, utilizando como coagulante-floculante la cal. se realiza en función al porcentaje del rendimiento de remoción mediante las pruebas experimentales de Jar-Test realizadas para la selección de dosis óptima, rescatando los resultados iniciales (antes de las pruebas de jarra) y resultados finales (60 min) de turbidez, SST y pH, ver Tabla 4.19.

Tabla 4.19: Evaluación de % de remoción de turbidez, SST y pH

N° Jarras	Dosis		Turbidez	SST	pH
	Ca(OH) <sub>2</sub> (ml/l)	CaO (g/l)	% de Remoción	% de Remoción	% de Remoción
1	3	0,15	99,846	99,886	68,605
2	4	0,20	99,948	99,954	65,231
3	5	0,25	99,967	99,968	60,958
4	6	0,30	<b>99,976</b>	<b>99,973</b>	<b>57,551</b>
5	7	0,35	99,985	99,980	56,684
6	8	0,40	99,989	99,983	54,274
7	9	0,45	99,992	99,987	52,796
8	10	0,50	99,996	99,991	51,028

En la Tabla 4.19 muestra los resultados de remoción de turbidez de 99,976 % y 99,973 % de remoción SST para la dosis óptima seleccionada de 6 ml de lecha de cal al 5 % que equivale a 0,30 g/l como muestra en la jarra N° 4; mientras que la remoción pH solo alcanza a 57,551 % de eficiencia.

#### 4.6. Evaluación de eficiencia del proceso de tratamiento

Para evaluar la eficiencia del proceso de tratamiento, realizado en mediante las pruebas de jarras (*Jar-Test*) bajo las condiciones de la dosis óptima seleccionada (6 ml de lechada cal al 5 % que equivale 3 g/l), respecto a los parámetros de turbidez, SST y pH y se procedió de la siguiente manera. Las pruebas experimentales realizadas en diferentes fechas, se evalúa según las normas legales que se tiene los siguientes normas: los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM (Anexo 28) para evaluar la turbidez y la norma de límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM (Anexo 29) para sólidos totales en suspensión y pH.

Tabla 4.20: Eficiencia de turbidez según D.S. N° 015-2015-MINAM

Estándares nacionales de calidad ambiental para agua						
Categoría 1-A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable						
Parámetros	D.S.	Unidad	A1	A2	A3	Resultado
Turbidez	N° 015-2015-MINAM	NTU	5	100	**	19,39
Categoría 1-B: Aguas superficiales destinadas para recreación						
Parámetros	D.S.	Unidad	B1	B2	Resultado	
Turbidez	N° 015-2015-MINAM	NTU	100	**	19,39	

Donde:

A1 : Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección.

A2 : Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

A3 : Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzada.

B1 : Contacto primario.

B2 : Contacto Secundario.

MINAN : Ministerio del Ambiente

\*\* : No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

En la Tabla 4.20 de acuerdo a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM muestra que la turbidez 19,37 NTU está dentro de los valores de “Categoría 1-A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable” y “A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional” como también dentro de los valores “Categoría 1-B: Aguas superficiales destinadas para recreación”.

Tabla 4.21: Eficiencia de SST y pH según D.S. N° 010-2010-MINAM

<b>Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero - Metalúrgicas</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>D.S.</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite para cualquier momento</b>	<b>Límite para el promedio anual</b>	<b>Valores promedio</b>
<b>Sólidos totales suspendidos</b>	N° 010-2010-MINAM	mg/l	50	25	18,25
<b>Potencial de hidrógeno</b>	N° 010-2010-MINAM	pH	6 – 9	6 - 9	10,82

En la Tabla 4.21 de acuerdo a los Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas, Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, muestra que solidos totales en suspensión (SST) 18,25 mg/l obtenida en un tiempo de 60 minutos está dentro de los límites máximos permisibles de la norma y 10,82 de pH, la cual se encuentra por encima o fuera de los límites permisibles de la norma mencionada anteriormente.

#### 4.7. Discusión del resultado

Según Canaza, A. & Chambi, E. En su tesis Evaluación de sedimentadores en columna y de flujo ascensional para remoción de fosfato de aguas residuales, utilizando floculantes cal y cloruro férrico, en una parte de su conclusión menciona que la remoción de turbiedad (NTU) con floculante cal viva en un 85,4 %; mientras que la presente tesis experimental alcanza una remoción de turbidez es 99,976 %.

Según Amanqui, D., & Lopez, F. En su tesis tratamiento de aguas ácidas de la mina Rinconada en el afluyente del Balcón N° 03, en una parte de su conclusión menciona al utilizar CaO (Oxido de calcio), el tiempo que se necesita para obtener un sedimento estable es de 10 horas, con un volumen de 110 cm<sup>3</sup>; mientras que en la presente tesis experimental se ha logrado sedimentar hasta 50,25 % de un litro de agua residual en un tiempo de 60 minutos.

Amanqui, D., & Lopez, F. También concluye que, con el tratamiento de CaO como agente precipitante, se logra eliminar los metales disueltos, alcanzando valores de concentración cercanos al exigido por el reglamento del medio ambiente; mientras que en la presente tesis experimental los sólidos totales en suspensión (SST) está dentro de límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas del Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM (Anexo 28), y la turbidez está dentro de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM (Anexo 29).

Según Mendoza, E. En su tesis Tratamiento de aguas residuales procedentes de la planta de curtiembre del centro de investigación y producción de la Facultad de Ingeniería Química, en una parte de su conclusión menciona que los reactivos utilizados en el tratamiento no incrementan la contaminación en las aguas; también en la presente tesis experimental podemos deducir que la cal no incrementa la contaminación por ayuda a controlar y/o eliminar la contaminación, envista de que la cal es un purificador de agua.

Según Valdéz, D., & Palacios, R. En su tesis diseño construcción y operación de reactores de flujo continuo para coagulación – floculación y en sedimentación de solidos disueltos para tratamiento de aguas residuales disueltos, en su conclusión menciona de con floculantes zeolita – cal demuestran cambios de tratamiento de concentraciones iniciales de turbidez de 470 NTU a 4 NTU al final del tratamiento cuyo % de rendimiento calculado es de 99,15 % para una dosis utilizada de 35 g de zeolita y 26 g de cal (CaO), las pruebas se realizaron con 100 litros de agua residual minera; mientras que en la presente tesis experimental se obtuvo la turbidez inicial de 81 900 NTU y la turbidez final de 19,39 NTU para 60 minutos, logrando disminuir un 99,976 % NTU para una dosis de 0,3 g/l, solamente utilizando cal para un litro de agua residual minera.

Según Morales, L. En su tesis Tratamiento de efluentes ácidos por NCD (Neutralización Coagulante Dinámica), para la optimización del proceso, en una parte de su conclusión menciona que el tiempo de agitación es de 15 minutos; también en la presente tesis experimental se ha realizado en 15 minutos (12 minutos de coagulación más 3 minutos de floculación) de agitación.

Según García, C. & Tongombol, D. En su publicación. Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud, en una parte de su conclusión mencionan de que los relaves mineros son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente son una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas, y que vienen a ser uno de los mayores contaminantes ambientales; también en la presente tesis experimental diremos que los relaves mineros son impactos negativos o contaminantes ambientales mientras no se realiza los tratamientos de dicho relave minero.

## CONCLUSIONES

1. Para la determinar de la sedimentación de SST (Sólidos Totales en Suspensión) y disminuir la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros de la Unidad Operativa Minera Santiago “B”, se ha utilizado la cal (CaO) en forma de lechada al 5 % como coagulante floculante con una dosis de 6 ml/l de lechada de cal y se ha logrado recuperar el 50,25 % de agua esclarecida mediante sistema de sedimentación gravimétrica en vasos precipitados en 60 minutos. La turbidez de la muestra inicial fue 81 900 NTU y la turbidez final para 60 minutos es 19,39 NTU, SST inicial fue 67 400 mg/l y SST final para 60 minutos es 18,25 mg/l.
2. Para poder determinar la dosis óptima de CaO, se ha realizado pruebas de jarras (Jar-Test), donde la cal fue utilizada en forma la lechada de cal (Ca(OH)<sub>2</sub>) al 5% y como dosis óptima se obtuvo 6 ml/L de lechada de cal que equivale 0,30 g/l de cal, según los resultados de turbidez y SST. Además la figura 4.2 demuestra que el  $R^2 = 0,968$ , lo cual indica que error es de 0,032 que a 3,2 % de error y la figura 4.3 demuestra que el  $R^2 = 0,9776$ ; lo cual indica que error es de 0,0224 que a 2,24 % de error de SST.
3. El porcentaje de remoción de turbiedad y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales, se ha calculado a partir las pruebas experimentales realizadas para obtener la dosis óptima, en donde la dosis es 6 ml/l que equivale a 0,3 g/l; obteniéndose las concentraciones de remoción lo siguiente: Remoción de turbidez es 99,976 % y remoción de SST es 99,973 %.



## RECOMENDACIONES

1. Para los futuros estudios de la Unidad Operativa Minera Santiago – B, realizar más estudios así como: aceites y grasas, cianuro, arsénico, cadmio total, cromo, cobre, hierro, plomo, mercurio y zinc de los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas de Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, utilizando coagulante – floculante la cal, para ver hasta qué punto es su rendimiento de la cal.
2. Para poder recuperar más porcentaje de agua esclarecida se recomienda a la Unidad Operativa Minera Santiago – B, realizar tratamiento secundario en las pozas de lodos, utilizando otro tipo de coagulante - floculante teniendo en cuenta el pH debe estar entre 6 – 9 de pH según D.S. N° 010-2010-MINAM.
3. Realizar la continuidad de estudios en cuanto al contenido de oro en polvo o hidrológico que puede contener las lamas sedimentadas y/o industrializar las lamas en caso de no existir contenido de oro.

## REFERENCIAS

- Amanqui Quispe, D. J., & Lopez Quispe, F. (2004). *Tratamiento de Aguas Ácidas de la Mina Rinconada en el Afluente del Balcón N° 03. (Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Canaza Mamani, A., & Chambi Chambi, E. (2013). *Evaluación de sedimentadores en Columna y de Flujo Ascensional para Remoción de Fosfato de aguas residuales, Utilizando floculantes Cal y Cloruro Férrico. (Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Chura Laura, Y. (2014). *Tratamiento y manejo de efluentes de aguas residuales de la industria textil, para la remoción de tensioactivos por coagulación y floculación. (Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Coloma Álvarez, G. (2008). *La cal: Es un reactivo químico*. Primera edición, Impreso en Chile. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. Recuperado de: [http://www.cbb.cl/cementos/PutDocument.aspx?File=190719\\_La%20Cal%20C2%A1Es%20Un%20Re.pdf](http://www.cbb.cl/cementos/PutDocument.aspx?File=190719_La%20Cal%20C2%A1Es%20Un%20Re.pdf).
- Cruz Mamani, O. J. (2012). *"Tratamiento de Turbiedad de Aguas Residuales en el Punto de Final den Operaciones de la Mina Ananea por Biomasa de Cactus (Pachycereus)"*. (Tesis de pre grado). Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Cruz Valdez, D. (2007). *Declaración de impacto ambiental de la CECOMSAP. Ananea*.
- Galvis González, N. J. (2014). *Ensayos de tratabilidad del agua, una herramienta concluyente para el diseño de plantas de potabilización (Tesis Post Grado)*. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales, Manizales – Colombia. Recuperado de: [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1751/Ensayos%20de%20tratabilidad%20del%20agua\\_una%20herramienta%20concluyent](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1751/Ensayos%20de%20tratabilidad%20del%20agua_una%20herramienta%20concluyent).
- Garcia Saldaña, C. A., & Tongombol Chuquiango, D. V. (s.f.). Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud. EAP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión. *IV CONACIN. Tarapoto, San Martín - Perú.*, 1.
- Grupo Calidra. (2002). *Usos de la cal en el tratamiento de aguas (Texto extraído del Manual de usos ecológicos de la cal)*. México,: Recuperado de: <http://foccal.org/portal/sites/default/files/archivos/articulos/Tratamiento%20AGUAS-CAL.pdf>.
- Guillermo Adawi. (2014). *Intical: Alta tecnología en la producción de cal, insumo esencial de la minería moderna*. Recuperado de: [http://www.iimp.org.pe/pptjm/jm20140828\\_calcesur.pdf](http://www.iimp.org.pe/pptjm/jm20140828_calcesur.pdf).

- Marín Gil, C. (2011). *Determinación de la dosis optima de lodos aluminosos para ser utilizada en el proceso de coagulación en aguas residuales provenientes del sector sur de la comuna del café - Parque industrial (Tesis Pre Grado)*. Escuela De Química, Facultad De Tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira - Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2556/62839M337.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Mayo Peternell, E. F. (2010). *Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Localidad de Xochiapa. (Tesis Pre Grado)*. Facultad De Ingeniería Civil. Universidad Veracruzana, XALAPA. Recuperado de: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30564/1/FernandezMayo.pdf>.
- Medina R., J. S. (2007). *Diseño de una Unidad de Filtración de aguas de formación de pozos Petroleros*. Escuela de Ingeniería de Quito. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/394/1/CD-0802.pdf>.
- Mendoza Bejar, E. M. (2009). *Tratamiento de Aguas Residuales Procedentes de la Planta de Curtiembre del Centro de Investigación y Producción de la Facultad de Ingeniería Química. (Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: tratamiento vertido y reutilización*. Tercera edición U.S.A. Mc. Graw Will. Tomo I.
- Morales Marcavillaca, L. A. (2010). *Tratamiento de efluentes ácidos por NDS (Neutralización coagulante dinámica), para la optimización del proceso. (Tesis Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Organización Mundial de la Salud. (1998). *Guías para la calidad del agua potable*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>.
- Orosco Río, 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*. Facultad De Minas. Universidad Nacional De Colombia, Medellín - Colombia. Recuperado de [http://www.bdigital.unal.edu.co/874/1/70786120\\_2009.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/874/1/70786120_2009.pdf).
- Pérez Farrás, L. E. (2005). *Cátedra De Hidráulica Aplicada A La Ingeniería Sanitaria: teoría de sedimentación*. Instituto De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental. Recuperado de: [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_teoria\\_sedimentacion.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf).
- Proyecto Minero Estela. (s.f.). *Instrumento de gestión ambiental correctivo - IGAC*. Consultores Glaciar SRL.
- Quimica Universal Ltda. (2006). *Cal viva; hoja de datos de seguridad de productos químicos (HDS)*. Santiago de Chile, Recuperado de: [http://www.quimicauniversal.cl/prod\\_calviva.php](http://www.quimicauniversal.cl/prod_calviva.php).

- Requena Mendizabal, M. A. (2008). *sistema de tratamiento de integral de aguas residuales industriales en UEA Animón de Empresa Administradora Chungar SAC. (Tesis de Pos Grado)*. Facultad de Ingeniería de Geológica Minera y Metalúrgica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú. Recuperado de: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/622/1/requena\\_mm.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/622/1/requena_mm.pdf).
- Rojas Villanueva, A. J. (2007). *Manejo ambiental de relaves – disposición subacuática. (Pre grado)*. E.A.P. de Ingeniería Metalúrgica, UNMSM. Lima - Perú. Recuperado de: [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2117/1/Rojas\\_va.pdf](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2117/1/Rojas_va.pdf).
- Romero Rojas, J. A. (2005). *Calidad del agua*. Bogotá - Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Terroba Quispe, L. G. (2010). *Tratamiento de relaves de tipo aluvial con Policloruro de Aluminio. (Tesis Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería metalurgista. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Valdéz Lira, D. G., & Palacios Mmamani, R. (2009). *Diseño construcción y operación de reactores de flujo continuo para coagulación – floculación y en sedimentación de solidos disueltos para tratamiento de aguas residuales mineras. (Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química, Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Valencia J., A. (1992). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Acodal, Colombia. Recuperado de: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/teoria.pdf>.
- Weber Walter, J. (1989). *Control de calidad del agua (Proceso Físico Químico)*. España: Reverte S.A. Recuperado de: [https://books.google.com.pe/books?id=TLpzh5HQYvgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=TLpzh5HQYvgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 01: Vía de acceso y ubicación.....	88
Anexo 02: Presipitaciones fluviales y temperatura.....	89
Anexo 03: Plano de ubicación del proyecto minero Estela .....	90
Anexo 04: Plano de hidrología .....	91
Anexo 05: Plano de geología .....	92
Anexo 06: Plano de pozas de relaves mineros.....	93
Anexo 07: Flow sheet .....	94
Anexo 08: Diseño de tratamiento de la prueba de aguas residuales .....	95
Anexo 09: Toma y preservación de muestras .....	96
Anexo 10: Hoja de datos de seguridad de cal viva .....	99
Anexo 11: Datos de monitoreo y evaluación ambiental in situ .....	101
Anexo 12: Análisis de muestra en el laboratorio .....	102
Anexo 13: Análisis de porcentaje pureza de oxido de calcio .....	103
Anexo 14: Selección de lechada de cal mediante la sedimentación gravimétrica.....	104
Anexo 15: Selección de lechada de cal mediante el porcentaje de agua esclarecido .....	104
Anexo 16: Selección de lechada de cal mediante turbidez de agua.....	104
Anexo 17: Promedio de la turbidez (NTU) al 5 % CaO.....	105
Anexo 18: Promedio de SST (mg/l) al 5 % CaO.....	106
Anexo 19: Promedio potencial de hidrógeno (pH) al 5 % CaO .....	107
Anexo 20: Primer y segundo punto de muestreo.....	108
Anexo 21: Toma de datos en lugar de muestreo y pruebas en laboratorio.....	109
Anexo 22: Pesaje de cal y preparación de lechada de cal al 5 % .....	110
Anexo 23: Agitación de agua residual con agitador magnético .....	111
Anexo 24: Lectura de turbidez con el turbidímetro.....	112
Anexo 25: Lectura sedimentación y SST con el colorímetro .....	113
Anexo 26: Lectura pH con el multiparamétrico .....	114
Anexo 27: Pruebas de sedimentación en probetas y vasos precipitados .....	115
Anexo 28: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua.....	116

Anexo 29: Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas .....	121
Anexo 30: Matriz de consistencia.....	122


Anexo 01: Vía de acceso y ubicación



Fuente: [www.google.com/Puno/San Antonio de Putina/Ananea](http://www.google.com/Puno/San Antonio de Putina/Ananea), (2017)



Anexo 02: Presipitaciones fluviales y temperatura

		<p align="center"><b>SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA PERÚ</b></p> <p align="center">"SENAMHI ÓRGANO OFICIAL Y RECTOR DEL SISTEMA HIDROMETEOROLÓGICO NACIONAL AL SERVICIO DEL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DEL PAÍS"</p>											
ESTACION:	CO. 114050	LATITUD	14°40'42,4"	DEPARTAMENTO	PUNO							SAN ANTONIO DE PUTINA ANANEA	
	ANANEA	LONGITUD	69°32'03,3"	PROVINCIA									
		ALTITUD	4660	DISTRITO									
<p align="center">PARÁMETRO: PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MÁXIMA EN °C</p>													
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
2016	11.3	11.4	12.2	11.9	12.2	11.7	11.0	11.5	11.4	10.6	11.6	11.3	
<p align="center">PARÁMETRO: PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MÍNIMA EN °C</p>													
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
2016	-0.6	-0.3	-1.4	-1.6	-1.8	-2.9	-2.8	-2.9	-2.7	-0.9	-0.7	-0.2	
<p align="center">PARÁMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN MM.</p>													
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
2016	131.0	106.2	36.8	56.9	5.2	0.0	13.1	13.8	31.1	74.1	48.7	83.9	
<p>RCC.</p>													
<p>INFORMACION PROCESADA PARA : RONAL TEJADA MAYTA (TESISTA)</p>													
												<p align="right">Puno, 30 de Mayo de 2017</p>	

Fuente: SENAMHI, Puno (2016)

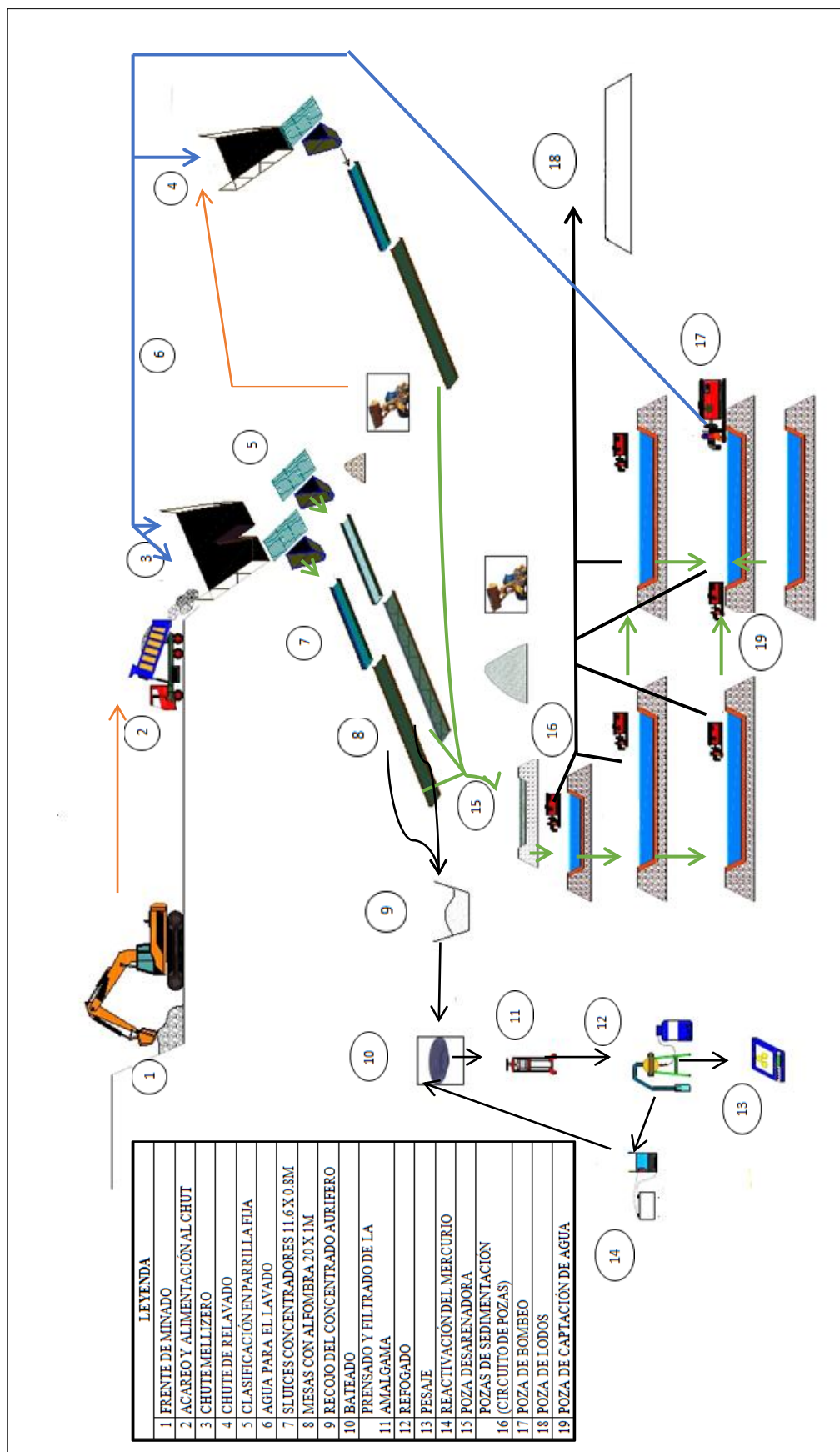
**Anexo 03: Plano de ubicación del proyecto minero Estela**

**Anexo 04: Plano de hidrología**

**Anexo 05: Plano de geología**

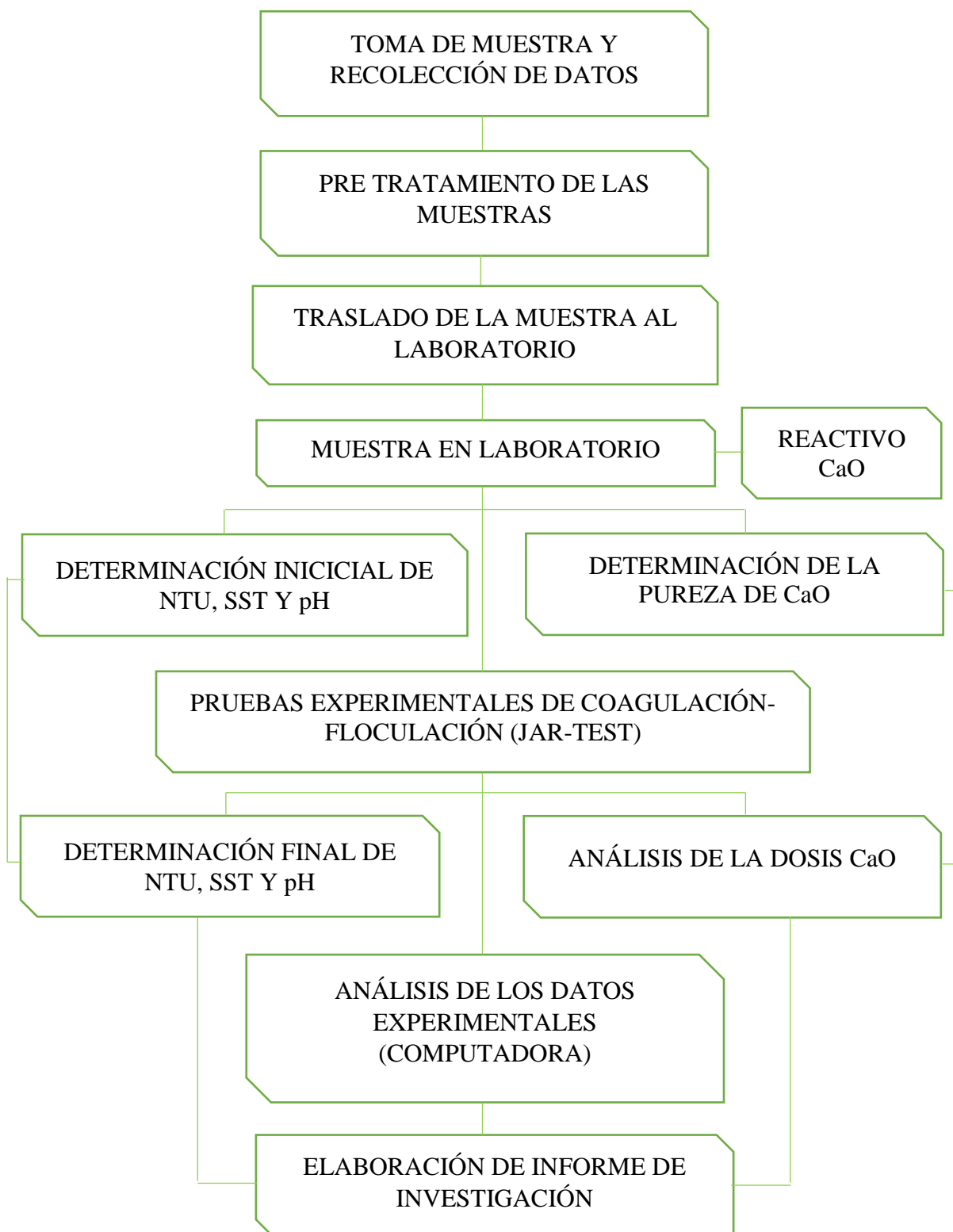
## **Anexo 06: Plano de pozas de relaves mineros**

Anexo 07: Flow sheet



Fuente: Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo - IGAC, Proyecto Minero Estela.

**Anexo 08: Diseño de tratamiento de la prueba de aguas residuales**



**Anexo 09: Toma y preservación de muestras**

RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE ACUERDO CON LAS MEDICIONES <sup>1</sup>					
Determinación	Recipient e <sup>2</sup>	Volumen mínimo de muestra, ml	Tipo de muestra <sup>3</sup>	Preservacion <sup>4</sup>	Almacenamiento max. Recomendado <sup>5</sup>
Acidez	P, V	100	s	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	P, V	200	s	Refrigerar	14 d
Boro	P	100	s, c	No requiere	6 meses
Carbono orgánico total	V	100	s, c	Análisis inmediato; o refrigerar y agregar H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Hasta	28 d
Cianuro: Total	P, V	500	s, c	Agregar NaOH hasta pH>12,	14 d <sup>7</sup>
Clorable	P, V	500	s, c	Agregar 100 mg	14 d <sup>7</sup>
Cloro, residual	P, V	500	s	Análisis inmediato	—
Clorofila	P, V	500	s, c	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	s, c	No requiere	28 d
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h
<b>Compuestos orgánicos:</b>					
Sustancias activas al azul de metileno	P, V	250	s, c	Refrigerar	48 h
Plaguicidas	V(S), tapón de TFE	1000	s, c	Refrigerar; agregar 1 000 mg ácido ascórbico/l si hay cloro residual	7 d hasta la extracción
Fenoles	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	40 d después de extraer
Purgable por purga y tranpa	V, tapon de TFE			Refrigerar; agregar HCl hasta pH<2; agregar 1 000 mg ácido ascorbico/l	14 d
Conductividad	P, V	500	s, c	Refrigerar	28 d
DBO	P, V	1 000	s	Refrigerar	48 h
Dióxido de carbon	P, V	100	s	Análisis inmediato	—
Dióxido de cloro	P, V	500	s	Análisis inmediato	—
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta H<2; refrigerar	28 d
Dureza	P, V	100	s, c	Agregar HNO <sub>3</sub>	6 meses
Fluoruro	P	300	s, c	No requiere	28 d
Fosfato	V(A)	100	s	Para fosfato disuelto filtrar	48 h
Grasa y aceite	V, boca ancha	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d
Metales, general		500	s	Filtrar <sup>8</sup> , agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Cromo VI	P (A), V(A)	300	s		24 h
Cobre, colometria	P (A), V(A)				
Mercurio	P (A), V(A)	500	s, c	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2, 4° C,	28 d

Continúa.....



Continuación de toma y preservación de muestras.

RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE ACUERDO CON LAS MEDICIONES					
Determinación	Recipiente <sup>2</sup>	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra a <sup>3</sup>	Preservación <sup>4</sup>	Almacenamiento max. Recomendado <sup>5</sup>
<b>Nitrógeno:</b>					
Amoniaco	P, V	500	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrato	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras tras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	s, c	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2, refrigerar	28 d
Nitrito	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	28 d
Olor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
Oxígeno disuelto	G, botella DBO	300	s		
Electrodo Winkler				Análisis inmediato La titulación puede aplazarse después de la acidificación	—
Ozono	V	1 000	s	Análisis inmediato	—
pH	P, V	50	s	Análisis inmediato	—
Sabor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
Salinidad	V, sello de cera	240	s	Análisis inmediato o usar sello de cera	—
Sílica	P	200	s, c	Refrigerar, no congelar	28 d
Sólidos	P, V	200	s, c	Refrigerar	27 d, ver protocolo
Sulfato	P, V	100	s, c	Refrigerar	28 d
Sulfuro	P, V	100	s, c	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 ml; agregar NaOH hasta pH>9	7 d
Temperatura	P, V	—	s	Análisis inmediato	—
Turbidez	P, V	100	s, c	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad refrigerar	48h
Yodo	P, V	500	s, c	Análisis inmediato	—

Fuente: [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Toma\\_De\\_Muestras.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm)

Donde:

- 1) Para metales disueltos las muestras deben filtrarse inmediatamente en el sitio de muestreo, antes de adicionar el ácido.
- 2) Para detalles adicionales ver el texto y los protocolos respectivos. Para las determinaciones no enumeradas, usar recipientes de vidrio o plástico; preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar lo más pronto posible.
- 3) P = plástico (polietileno o equivalente); V = vidrio; V(A) o P(A) = enjuagado con HNO<sub>3</sub> 1+1; V(B) = vidrio, enjuagado con solventes orgánicos o secado en estufa.
- 4) s = simple o puntual; c = compuesta.
- 5) Refrigerar = almacenar a 4 °C en ausencia de luz. La preservación de la muestra debe realizarse en el momento de la toma de muestra. Para muestras compuestas, cada alícuota debe preservarse en el momento de su recolección. Cuando el uso de un muestreador automático haga imposible la preservación de cada alícuota, las muestras deben mantenerse a 4 °C hasta que se complete la composición.
- 6) Las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible después de su recolección. Los tiempos listados son los periodos máximos que pueden transcurrir antes del análisis para considerarlo válido. Las muestras pueden dejarse por periodos más prolongados solo si su monitoreo en el laboratorio ha demostrado que la muestra en estudio es estable durante un mayor tiempo. Algunas muestras pueden no ser estables por el periodo máximo dado en la tabla. Si se envían las muestras por correo, deben cumplir con las regulaciones de transporte de materiales peligrosos (consultar EPA Methods...)
- 7) Si la muestra está clorada, consultar su pretratamiento en el protocolo o en Standard Methods.
- 8) El máximo tiempo de almacenamiento es de 24 h si está presente el sulfuro, el cual se puede detectar mediante papel con acetato de plomo antes de ajustar el pH; si el sulfuro está presente, puede removerse por adición de nitrato de cadmio en polvo hasta que se obtenga prueba negativa; después se filtra la muestra y se adiciona NaOH hasta pH 12.

## Anexo 10: Hoja de datos de seguridad de cal viva

QUIMICA UNIVERSAL LTDA		CAL VIVA
 <b>Química Universal</b>		
<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUIMICOS (HDS)</b> 25/05/2006		
<b>1. Identificación de la mezcla y del proveedor</b>		
Nombre de la mezcla	:	Nombre de la mezcla
Código interno de la mezcla	:	Código interno de la mezcla
Nombre del proveedor	:	Nombre del proveedor
Dirección	:	Dirección
Tel de Emergencia en Chile:	:	Teléfono de Emergencia en Chile
Fax	:	Fax
e-mail	:	VENTAS@QUIMICAUNIVERSAL.CL
<b>2. Información sobre la mezcla</b>		
Nombre químico	:	Cal Viva
Fórmula Química	:	No tiene fórmula química definida, es una mezcla de sustancias compuestas básicamente por: CaO, OMg, Co <sub>3</sub> Ca, O <sub>3</sub> fe <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> AL <sub>2</sub> , Ona<4%, OK < 4%, SiO <sub>2</sub> , arcillas, residuos.
Sinónimos	:	Cal común u ordinaria
Número Naciones Unidas	:	No tiene
Número CAS	:	No tiene
<b>3. Identificación de los Riesgos</b>		
<b>La reacción de apagado de la cal produce elevación de Temperatura y elimina vapor del agua.</b>		
<b>Los cuidados que hay que tener son:</b>		
Aislar el producto del contacto con el agua.		
En caso de contacto con agua, controlar la reacción, ya sea evitando el contacto o agregando agua en exceso		
El contacto del producto con la humedad ambiental produce el apagado de la cal, pero levemente, sin riesgo.		
Continúa la degradación hasta carbonato de calcio.		
<b>Clasificación de riesgo del producto químico : No tiene.</b>		
<b>Símbolo de identificación</b>	:	<b>No corresponde.</b>
<b>Señal que especifique riesgo</b>	:	<b>No corresponde.</b>
<b>4. Medidas de primeros auxilios</b>		
<b>En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo con:</b>		
<b>a) Inhalación:</b>		
Trabajar con el producto en lugares ventilados y con protección naso – bucal (mascarilla). Si se produce inhalación, retirarse a un lugar ventilado.		
<b>b) Contacto con la Piel:</b> Trabajar con guantes y ropa de protección. En caso de contacto, eliminar el producto en seco y luego lavar con agua y jabón.		
<b>c) Contacto con los Ojos:</b> Trabajar con antiparras durante el manipuleo del producto. Lavar con abundante agua durante varios minutos, consultar al médico.		
<b>d) Ingestión:</b> En este caso es nocivo, lavar la boca con agua y derivar al centro asistencial. No se debe ingerir el producto.		
<b>Notas especiales para uso médico :</b>		
El paciente ya derivado al médico, debe ser tratado por irritación producida durante el contacto con el producto. La eliminación del producto en la zona afectada se realiza antes de partir al centro de asistencia de salud.		

Continúa...

Continuación de hoja de datos de seguridad de cal viva.

QUIMICA UNIVERSAL LTDA		CAL VIVA
 <b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUIMICOS (HDS)</b> 25/05/2006 Química Universal		
<b>5. Medidas para lucha contra el fuego</b>		
Agentes de extinción		El producto no produce fuego.
<b>a) Procedimientos especiales para combatir el fuego</b>		Procedimientos especiales: No existe riesgo especial.
<b>6. Medidas para controlar derrames o fugas</b>		
<b>Equipos de protección personal para atacar la emergencia</b>	El equipo de protección del personal se conforma de: ropa de protección, guantes de caucho, antiparras, calzado de seguridad, mascarilla naso – bucal.	
<b>a) Precauciones a tomar para evitar daños al medio ambiente</b>	Las precauciones a tomar son durante el apagado de la cal, en el corto plazo se producirá la transformación a carbonato de calcio que es inerte para el medio ambiente.	
<b>b) Métodos de Limpieza</b>	Recolección en seco. Los desechos se deben retornar a su envase de origen o similar. Este material puede ser reciclado como uso agrícola (abono). Es un regulador del PH.	
<b>7. Manipulación y Almacenamiento</b>		
<b>7.1 Manipulación</b>	Evitar contacto con la humedad para preservar el producto. Evitar el contacto con el agua.	
<b>7.2 Almacenamiento</b>		
<b>a) Condiciones de almacenamiento</b>	Almacenar en un lugar cerrado y seco. Ventilar durante la manipulación.	
<b>b) Embalajes recomendados</b>	Se recomienda sacos impermeables de 1,500 km.	
<b>8. Control de Exposición/Protección especial</b>		
<b>a) Medidas para reducir la posibilidad de exposición</b>	: Contar con el EPP apropiado.	
<b>b) Parámetros para control</b>	: Transporte carretero, envases por 1,000 – 1,500 km.	
Límite permisible ponderado (LPP)	: 1,6 mg/m <sup>3</sup>	
Límite permisible absoluto (LPA)	: No corresponde	
<b>c) Equipos de protección personal</b>		
Protección respiratoria	: Usar trompa buco nasal, 95 %	
Guantes de protección	: Guantes de caucho y/o descarnado de seguridad	
Protección de la vista	: Antiparras	
Otros equipos de protección	: No Aplica	

Fuente: Química Universal Ltda., (2006).

Anexo 11: Datos de monitoreo y evaluación ambiental in situ



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



**INFORME N° 17019**

SOLICITANTE : Bach. RONAL TEJADA MAYTA  
 MUESTRA : Agua residuales de relaves mineros  
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : Unidad Operativa Minera Santiago  
 Distrito de Ananea  
 Provincia de San Antonio de Putina  
 Departamento de Puno

**DATOS DE LA MUESTRA**

DATOS	MUESTRAS	MUESTRAS
	PTO - 01	PTO - 02
PROCEDENCIA	Unidad Operativa Minera Santiago / Ananea / San Antonio de Putina / Puno	Unidad Operativa Minera Santiago / Ananea / San Antonio de Putina / Puno
COORDENADAS – SISTEMA WGS-84	E: 0446302 N:8375528	E: 0446222 N: 8375604
FECHA DE MUESTREO	12/10/2016	12/10/2016
HORA DE MUESTREO (Inicial)	9:30 am	10:00 am
FECHA DE ANALISIS DE MUESTRAS	12/10/2016	12/10/2016

**PROPIEDADES FISICAS - QUIMICAS**

Punto de Muestreo	Toma de Muestra	Hora de Muestreo	Volumen de Muestra (L)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Turbidez NTU	Partículas en Suspensión (ppt)	pH	T° °C	C.E. (mS.)
PTO - 01	M <sub>1</sub> - 01	9:30am	8	0.1188	>800	0.06	7.65	8.8	0.12
	M <sub>1</sub> - 02	10:30am	8	0.1206	>800	0.06	7.74	8.7	0.12
	M <sub>1</sub> - 03	11:30am	8	0.1116	>800	0.06	7.77	10.4	0.12
	M <sub>1</sub> - 04	1:30pm	8	0.1216	>800	0.06	7.87	8.9	0.11
	M <sub>1</sub> - 05	2:30pm	8	0.1213	>800	0.06	7.87	6.7	0.11
	M <sub>1</sub> - 06	3:30pm	10	0.1118	> 800	0.06	7.89	7.9	0.12
<b>PROMEDIO TOTAL/PTO-01</b>			<b>8</b>	<b>0.1176</b>	<b>&gt;800</b>	<b>0.06</b>	<b>7.80</b>	<b>8.57</b>	<b>0.12</b>
PTO - 02	M <sub>2</sub> - 01	10:00am	8	0	699	0.05	8.02	10.6	0.12
	M <sub>2</sub> - 02	11:00am	8	0	656	0.05	8.04	12.4	0.12
	M <sub>2</sub> - 03	12:00md	8	0	688	0.05	8.09	12.4	0.12
	M <sub>2</sub> - 04	1:00pm	8	0	689	0.05	7.96	9.0	0.11
	M <sub>2</sub> - 05	2:00pm	8	0	669	0.05	7.93	8.7	0.11
	M <sub>2</sub> - 06	3:00pm	10	0	687	0.05	7.98	7.6	0.11
<b>PROMEDIO TATAL/PTO-02</b>			<b>8</b>	<b>0</b>	<b>681</b>	<b>0.05</b>	<b>8.00</b>	<b>10.1</b>	<b>0.12</b>

Nota: La medición de análisis de muestras se realizó in situ.



Ing. OWAL A. VELASQUEZ VIZA  
 Jefe de Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental

Fuente: Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental, FIM-UNAP.

Anexo 12: Análisis de muestra en el laboratorio



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



# Certificado de Análisis

L.Q - 2017 N° 050

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de PORCENTAJE PUREZA DE ÓXIDO DE CALCIO

---

**PROCEDENCIA** : Mercado local  
**INTERESADO** : Bach. Ronal Tejada Mayta  
**MOTIVO** : Ejecución de Proyecto de Tesis  
**COMPRA** : 12/10/2016, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 13/10/2016  
**COD. MUESTRA:** B - 2078

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

**Estado** : Sólido  
**Color** : Blanco  
**Olor** : Característico al Óxido de Calcio  
**Aspecto** : Pulverizado

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	UNIDAD	RESULTADOS	METODO
1.- Porcentaje de Óxido de Calcio	%	69.7	Volumétrico

Puno, C.U. 05 de mayo de 2017



*Edith Tello Palma*  
 Ing. M. Sc. Edith Tello Palma  
 DECANIA F.I.Q.

Ciudad Universitaria Av: Floral s/n Facultad de Ing. Química - Pabellón 94 - Telefax (051)366142 -352992.

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad, Facultad de Ingeniería Química - UNAP.

**Anexo 13: Análisis de porcentaje pureza de oxido de calcio**



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



# Certificado de Análisis

L.Q - 2017

N° 050

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de PORCENTAJE PUREZA DE ÓXIDO DE CALCIO

---

**PROCEDENCIA** : Mercado local  
**INTERESADO** : Bach. Ronal Tejada Mayta  
**MOTIVO** : Ejecución de Proyecto de Tesis  
**COMPRA** : 12/10/2016, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 13/10/2016  
**COD. MUESTRA:** B - 2078

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

**Estado** : Sólido  
**Color** : Blanco  
**Olor** : Característico al Óxido de Calcio  
**Aspecto** : Pulverizado

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	UNIDAD	RESULTADOS	METODO
1.- Porcentaje de Óxido de Calcio	%	69.7	Volumétrico

Puno, C.U. 05 de mayo de 2017



*Edith Tello Palma*  
 Ing. M. Sc. Edith Tello Palma  
 DECANIA F.I.Q.

Ciudad Universitaria Av: Floral s/n Facultad de Ing. Química - Pabellón 94 - Telefax (051)366142 -352992.

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad, Facultad de Ingeniería Química - UNAP.

**Anexo 14: Selección de lechada de cal mediante la sedimentación gravimétrica**

N° Jarras	Dosis (g/ml)	Agua residual (ml)	Tiempo (min)						
			5	10	20	30	45	60	120
1	10 ml al 0.5 %	1 000	0	0	0	0	0	0	50
2	10 ml al 1 %	1 000	950	850	710	650	590	560	530
3	10 ml al 3 %	1 000	900	790	660	600	550	530	500
4	10 ml al 5 %	1 000	870	750	630	580	535	500	450
5	10 ml al 10 %	1 000	840	720	610	570	530	500	450
6	10 ml al 25 %	1 000	850	730	620	580	530	500	440

**Anexo 15: Selección de lechada de cal mediante el porcentaje de agua esclarecido**

N° Jarras	Dosis (g/ml)	Cantidad de agua residual (ml)	Tiempo (min)						
			5	10	20	30	45	60	120
1	10 ml al 0.5 %	1 000	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	5 %
2	10 ml al 1 %	1 000	5 %	15 %	29 %	35 %	41 %	44 %	47 %
3	10 ml al 3 %	1 000	10 %	21 %	34 %	40 %	45 %	47 %	50 %
4	10 ml al 5 %	1 000	13 %	25 %	37 %	42 %	47 %	50 %	55 %
5	10 ml al 10 %	1 000	16 %	28 %	39 %	43 %	47 %	50 %	55 %
6	10 ml al 25 %	1 000	15 %	27 %	38 %	42 %	47 %	50 %	56 %

**Anexo 16: Selección de lechada de cal mediante turbidez de agua**

N° Jarras	Dosis (g/ml)	Cantidad de agua residual (ml)	Tiempo(min)				
			0	15	30	45	60
1	10 ml al 0,5 %	1 000	81 900	980	850	820	810
2	10 ml al 1 %	1 000	81 900	181	127	112	103
3	10 ml al 3 %	1 000	81 900	16	11	10	9
4	10 ml al 5 %	1 000	81 900	9	5	3	1
5	10 ml al 10 %	1 000	81 900	3	1	0	0
6	10 ml al 25 %	1 000	81 900	0	0	0	0



**Anexo 17: Promedio de la turbidez (NTU) al 5 % CaO**

Dosis (ml/l o g/l)		Fechas	Tiempo (min)				Tiempo (min)			
			15	30	45	60	15	30	45	60
3 ml	0,15	1ra Fecha	318	125	122	119	319,25	197,65	153,13	126,03
		2da Fecha	150	97	78	72				
		3ra Fecha	604	414	298	207				
		4ta Fecha	205	155	115	107				
4 ml	0,20	1ra Fecha	103	62	58	55	94,78	67,33	54,15	42,90
		2da Fecha	102	64	53	32				
		3ra Fecha	92	79	45	25				
		4ta Fecha	82,3	65	61,2	60,1				
5 ml	0,25	1ra Fecha	77	53	49	46	52,48	35,51	30,55	26,65
		2da Fecha	29	19	15	11				
		3ra Fecha	44	36	28	24				
		4ta Fecha	59,7	34	30,3	26,2				
6 ml	0,30	1ra Fecha	51,6	43	39	36	31,94	26,10	24,19	19,39
		2da Fecha	36,3	27	26	14				
		3ra Fecha	19	17	16	12				
		4ta Fecha	21,2	18	16,7	15,9				
7 ml	0,35	1ra Fecha	45	34	31	28	24,48	17,93	13,29	12,24
		2da Fecha	11	6	5	4				
		3ra Fecha	31	23	9	11				
		4ta Fecha	11,04	8,9	7,93	6,05				
8 ml	0,40	1ra Fecha	38	25	22	20	16,64	12,86	10,44	8,98
		2da Fecha	12	13	6	6				
		3ra Fecha	8	6	6	4				
		4ta Fecha	8	7	7	6				
9 ml	0,45	1ra Fecha	24	15	12	11	11,81	8,23	6,95	6,23
		2da Fecha	10	8	6	5				
		3ra Fecha	7	4	3	3				
		4ta Fecha	7	7	7	6				
10 ml	0,50	1ra Fecha	9	5	2	1	6,52	4,27	3,23	3,02
		2da Fecha	3	3	2	2				
		3ra Fecha	8	3	3	3				
		4ta Fecha	6	6	5	5				

Anexo 18: Promedio de SST (mg/l) al 5 % CaO

Dosis (ml/l o g/l)		Fechas	Tiempo (min)				Tiempo (min)			
			15	30	45	60	15	30	45	60
3 ml	0,15	1ra Fecha	110	94	89	87	127,13	104,88	86,25	76,88
		2da Fecha	125	98	62	50				
		3ra Fecha	147	124	101	84				
		4ta Fecha	127	104	93	87				
4 ml	0,20	1ra Fecha	56	45	40	38	51,25	40,50	34,50	30,75
		2da Fecha	36	26	22	18				
		3ra Fecha	57	40	28	21				
		4ta Fecha	56	51	48	46				
5 ml	0,25	1ra Fecha	48	38	34	32	33,13	27,63	23,88	21,38
		2da Fecha	27	21	16	13				
		3ra Fecha	31	27	23	20				
		4ta Fecha	27	25	23	21				
6 ml	0,30	1ra Fecha	37	30	27	25	28,25	23,75	20,50	18,25
		2da Fecha	38	32	25	20				
		3ra Fecha	18	16	15	14				
		4ta Fecha	20	17	15	14				
7 ml	0,35	1ra Fecha	34	26	23	21	21,63	17,38	15,13	13,75
		2da Fecha	16	14	13	12				
		3ra Fecha	25	20	16	14				
		4ta Fecha	12	10	9	8				
8 ml	0,40	1ra Fecha	28	21	18	17	17,00	14,25	12,50	11,50
		2da Fecha	17	16	14	13				
		3ra Fecha	10	9	8	7				
		4ta Fecha	13	11	10	9				
9 ml	0,45	1ra Fecha	22	16	13	12	13,38	11,13	9,75	9,00
		2da Fecha	12	11	10	10				
		3ra Fecha	9	8	7	6				
		4ta Fecha	11	10	9	8				
10 ml	0,50	1ra Fecha	15	10	8	7	11,00	8,50	6,75	6,00
		2da Fecha	8	7	6	6				
		3ra Fecha	10	8	6	5				
		4ta Fecha	11	9	7	6				

**Anexo 19: Promedio potencial de hidrógeno (pH) al 5 % CaO**

Dosis (ml/l o g/l)		Fechas	Tiempo (min)				Tiempo (min)			
			15	30	45	60	15	30	45	60
3 ml	0,15	1ra Fecha	10,72	10,60	10,43	10,24	10,24	10,28	10,26	10,22
		2da Fecha	10,57	10,58	10,59	10,59				
		3ra Fecha	9,71	9,72	9,74	9,75				
		4ta Fecha	9,97	10,21	10,28	10,31				
4 ml	0,20	1ra Fecha	10,90	10,86	10,0	10,54	10,55	10,55	10,50	10,49
		2da Fecha	10,98	10,98	10,96	10,95				
		3ra Fecha	10,08	10,11	10,19	10,18				
		4ta Fecha	10,22	10,25	10,26	10,27				
5 ml	0,25	1ra Fecha	10,94	10,96	10,88	10,82	10,82	10,83	10,83	10,82
		2da Fecha	11,40	11,42	11,44	11,45				
		3ra Fecha	10,48	10,47	10,55	10,57				
		4ta Fecha	10,45	10,46	10,45	10,43				
6 ml	0,30	1ra Fecha	11,02	11,12	11,18	11,2	10,99	11,06	11,09	11,08
		2da Fecha	11,44	11,45	11,46	11,46				
		3ra Fecha	10,97	11,16	11,21	11,18				
		4ta Fecha	10,51	10,52	10,51	10,49				
7 ml	0,35	1ra Fecha	11,06	11,17	11,30	11,33	11,10	11,10	11,14	11,15
		2da Fecha	11,55	11,56	11,56	11,55				
		3ra Fecha	10,88	10,72	10,77	10,78				
		4ta Fecha	10,92	10,93	10,94	10,94				
8 ml	0,40	1ra Fecha	11,12	11,23	11,45	11,46	11,20	11,25	11,32	11,34
		2da Fecha	11,48	11,48	11,47	11,47				
		3ra Fecha	11,12	11,16	11,18	11,17				
		4ta Fecha	11,06	11,12	11,18	11,25				
9 ml	0,45	1ra Fecha	11,18	11,31	11,38	11,49	11,36	11,39	11,42	11,45
		2da Fecha	11,35	11,36	11,37	11,37				
		3ra Fecha	11,54	11,55	11,56	11,58				
		4ta Fecha	11,36	11,35	11,36	11,37				
10 ml	0,50	1ra Fecha	11,22	11,37	11,52	11,55	11,45	11,54	11,58	11,59
		2da Fecha	11,61	11,82	11,85	11,86				
		3ra Fecha	11,48	11,49	11,50	11,52				
		4ta Fecha	11,49	11,47	11,44	11,43				

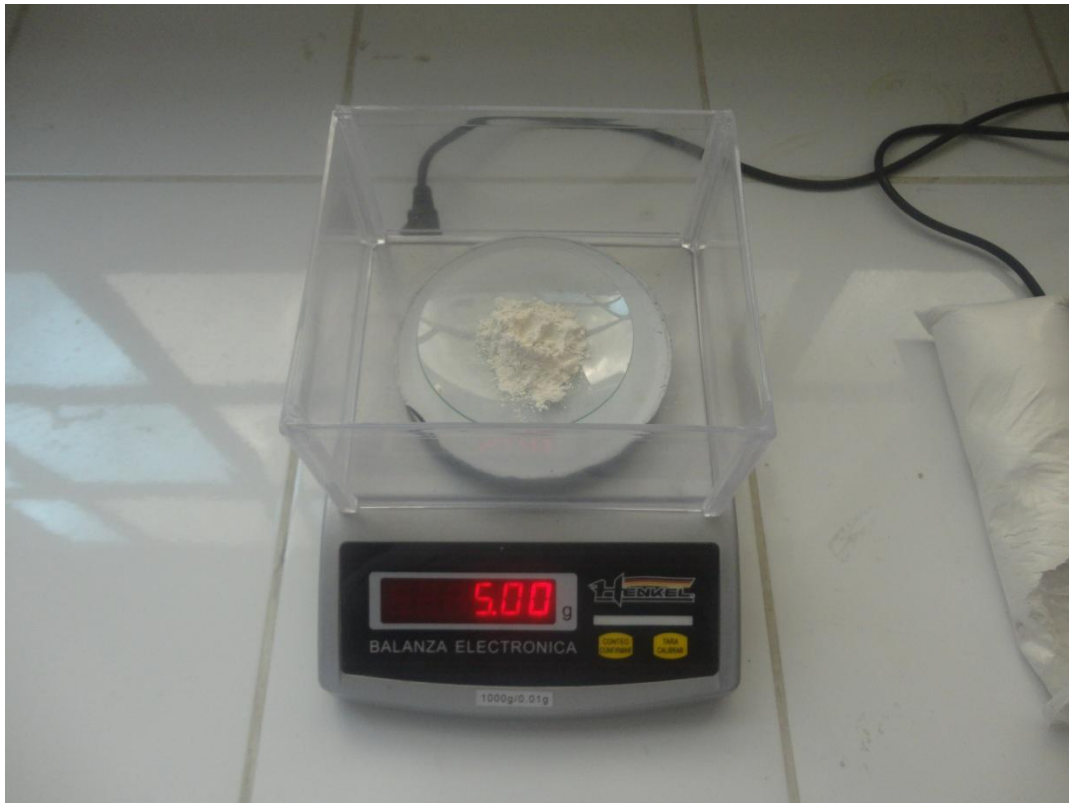
**Anexo 20: Primer y segundo punto de muestreo**



**Anexo 21: Toma de datos en lugar de muestreo y pruebas en laboratorio**



**Anexo 22: Pesaje de cal y preparación de lechada de cal al 5 %**



**Anexo 23: Agitación de agua residual con agitador magnético**



Anexo 24: Lectura de turbidez con el turbidímetro





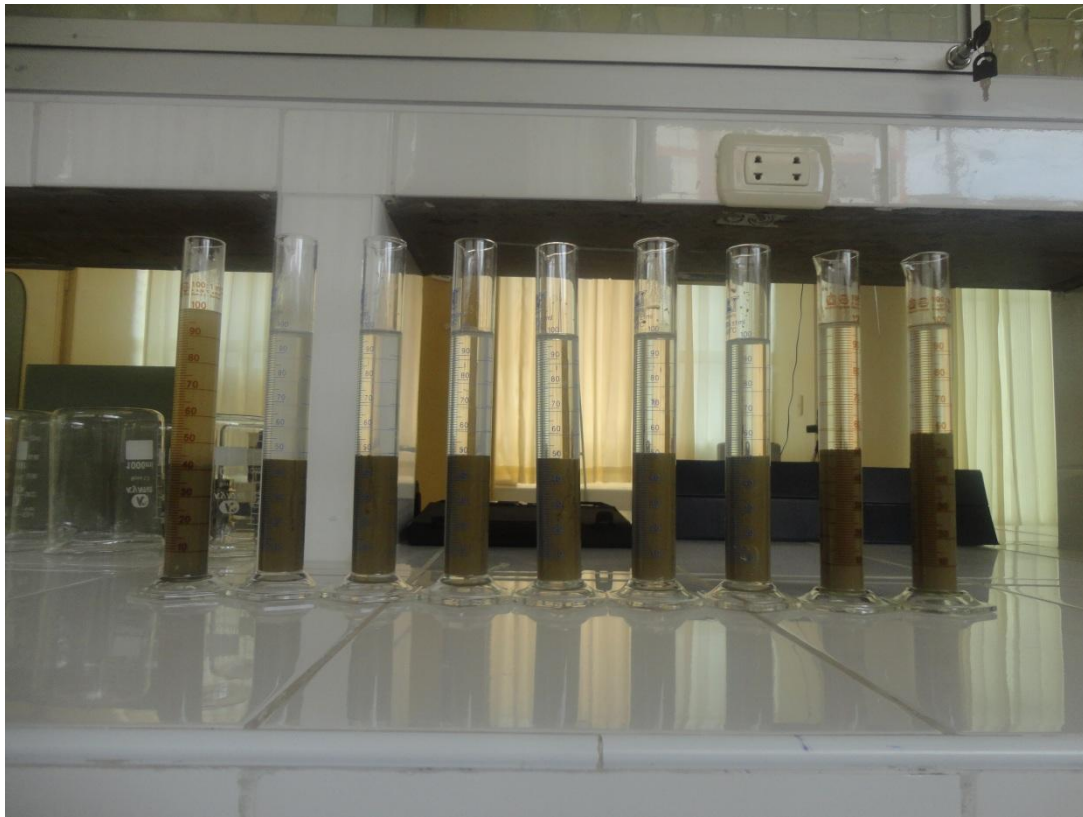
Anexo 25: Lectura sedimentación y SST con el colorímetro



Anexo 26: Lectura pH con el multiparamétrico



**Anexo 27: Pruebas de sedimentación en probetas y vasos precipitados**



**Anexo 28: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua**

Parámetros y valores consolidados - categoría 1-A

PARÁMETROS	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzada
<b>FISICO – QUIMICO</b>				
Aceites y grasas	mg/l	0,5	1,7	1,7
Cianuro total	mg/l	0,07	0,2	0,2
Cloruros	mg/l	250	250	250
Color (b)	Unidad de Color verdadero escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(uS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	3	5	10
Dureza	mg/l	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	10	20	30
Fenoles	mg/l	0,003	**	**
Fluoruros	mg/l	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/l	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de origen antropogénico.		Ausencia de material flotantes de origen antrópico	Ausencia de material flotantes de origen antrópico	Ausencia de material flotantes de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	3	3	**
Amoniaco- N	mg/l	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/l	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/l	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**

Fuente: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, D.S. N° 015-2015-MINAM.

Continua...

Continuación de parámetros y valores consolidados - categoría 1-A

PARÁMETROS	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzada
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/l	0,9	5	5
Antimonio	mg/l	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/l	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/l	0,7	1	**
Berilio	mg/l	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/l	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/l	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/l	2	2	2
Cromo total	mg/l	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/l	0,3	1	5
Manganeso	mg/l	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/l	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/l	0,07	**	**
Níquel	mg/l	0,07	**	**
Plomo	mg/l	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/l	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/l	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/l	3	5	5
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
Hidrocarburos depetróleo emulsionado o disuelto (C10-C28 y mayoresa C28 )	mg/l	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(c)	1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/l	0,1	**	**
Cloroformo	mg/l	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/l	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/l	0,06	**	**
<b>Compuestos orgánicos volatiles</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/l	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/l	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/l	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/l	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/l	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/l	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/l	0,07	0,07	**

Fuente: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, D.S. N° 015-2015-MINAM.

Continua...

Continuación de parámetros y valores consolidados - categoría 1-A

PARÁMETROS	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzada
Benceno	mg/l	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/l	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/l	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/l	0,5	0,5	**
<b>Hidrocarburos aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/l	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/l	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados:</b>				
Malatión	mg/l	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin + Dieldrin	mg/l	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/l	0,0002	0,0002	**
DDT	mg/l	0,001	0,001	**
Endrin	mg/l	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/l	0,00003	0,00003	Retirado
Lindano	mg/l	0,002	0,002	**
<b>Carbamatos:</b>				
Aldicarb	mg/l	0,01	0,01	**
<b>Policloruros bifenilos totales</b>				
PCB's	mg/l	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	50	5 000	50 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas parasitarias	N° Organismo/l	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Microcistina-LR	mg/l	0,001	0,001	**
Vibrio cholerae	Presencia/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, pépodos, rotíferos, nematodos, en Todos sus estadios evolutivos) (d)	N° Organismo/l	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

Fuente: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, D.S. N° 015-2015-MINAM.

Parámetros y valores consolidados - **categoría 1-B**

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>FÍSICOS – QUÍMICOS</b>			
Aceites y grasas	mg/l	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/l	0,022	0,022
Cianuro wad	mg/l	0,08	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/l	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	10	**
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/l	≥ 5	≥ 4
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/l	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**

Fuente: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, D.S. N° 015-2015-MINAM.

Continua...

## Continuación de parámetros y valores consolidados - categoría 1-B

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/l	0,2	**
Antimonio	mg/l	0,006	**
Arsénico	mg/l	0,01	**
Bario	mg/l	0,7	**
Berilio	mg/l	0,04	**
Boro	mg/l	0,5	**
Cadmio	mg/l	0,01	**
Cobre	mg/l	2	**
Cromo Total	mg/l	0,05	**
Cromo VI	mg/l	0,05	**
Hierro	mg/l	0,3	**
Manganeso	mg/l	0,1	**
Mercurio	mg/l	0,001	**
Níquel	mg/l	0,02	**
Plata	mg/l	0,01	0,05
Plomo	mg/l	0,01	**
Selenio	mg/l	0,01	**
Uranio	mg/l	0,02	0,02
Vanadio	mg/l	0,1	0,1
Zinc	mg/l	3	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Totales (35 – 7 °C)	NMP/100 ml	1000	4 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	E.coli /100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Nº Organismo/l	0	**
Giardia duodenalis	Nº Organismo/l	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella sp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholera	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Fuente: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, D.S. N° 015-2015-MINAM.

Continua...

### Categoría - A

- (a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
- (b) Después de la filtración simple
- (c) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:



$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{E_{CA\text{cloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{E_{CA\text{dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{E_{CA\text{bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{E_{CA\text{bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C : Concentración en mg/L y

ECA : Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(d) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en lamentos o pluricelulares.

- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.
- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

**Categoría 1 – B**

- UNT : Unidad Nefelométrica de Turbiedad
- NMP/100 ml : Número más probable en 100 ml
- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

**Anexo 29: Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas**

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

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM

Donde:

(\*) En muestra no filtrada.

Anexo 30: Matriz de consistencia

1.- Problema	2.- Objetivos	3.- Hipótesis	4.- Variables	5.- Metodología
<p><b>Descripción del problema. Definición de la realidad del problema</b></p> <p>La alta concentración de sólidos totales en suspensión genera la turbidez de las aguas residuales y demora bastante tiempo en sedimentar y en la disminución de la turbidez, lo cual perjudica el reúso del agua residual y la recuperación del oro.</p> <p><b>Formulación de problema</b></p> <p>¿Cómo es el uso de la cal como coagulante - floculante para lograr la sedimentación de sólidos totales en suspensión y reducirlo la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Evaluar la sedimentación de sólidos totales en suspensión y reducirlo la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros, utilizando la cal como coagulante-floculante en la UOMS-B.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la dosis óptima de la cal (CaO) para el tratamiento de turbidez y para la sedimentación de sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS-B.</li> <li>• Determinar el porcentaje de la remoción de turbidez y de sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS-B.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El uso de la cal como coagulante-floculante acelera el proceso de sedimentación de sólidos totales en suspensión y disminuye la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS-B.</p> <p><b>Hipótesis específica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La adición de la Cal (CaO), influye en la reducción de la turbidez y en la sedimentación de sólidos totales en suspensión de las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS-B.</li> <li>• El porcentaje de la remoción de turbidez y de sólidos totales en suspensión, coopera en la identificación del rendimiento de la cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS-B.</li> </ul>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Tratamiento de la turbidez con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS-B.</p> <p><b>Variables dependientes</b></p> <p>Sedimentación con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS-B.</p> <p><b>Variable interviniente</b></p> <p>pH.</p>	<p>El diseño de investigación es experimental mediante las pruebas de jarras (Jar-Test) en el laboratorio utilizando como coagulante - floculante cal, para poder determinar los resultados de cálculos matemático-estadístico y analítico; porque el planteamiento de problema establece el tratamiento adecuado para lograr sedimentar los sólidos totales en suspensión y reducirlo la turbidez utilizando la cal como coagulante-floculante en la UOMS - B.</p> <p>Para medir, analizar, describir y explicar la interrelación de variables que se describen; la variable independiente (causa) que es el tratamiento de la turbidez con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B, como variable dependiente (efecto) sedimentación con cal en las aguas residuales de relaves mineros de la UOMS - B.</p>