

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



TESIS:

**“TRATAMIENTO FISICOQUIMICO DE AGUAS TURBIAS DE LA MINERA
AURIFERA TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L CAMANTI- QUINCE MIL”**

(INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)

Presentado por:

Br. Huaman Quispe, Alvaro
Br. Betancurt Palomino, Jose Americo

Para optar al Título Profesional de:
INGENIERO METALÚRGICO.

ASESOR:

Mgt. Bustamante Jaen Julio Danilo
CUSCO, ENERO 2019

PRESENTACIÓN

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALÚRGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO.

Cumpliendo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, con el fin de optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, ponemos a vuestra consideración la Tesis Colectiva Intitulada:

“TRATAMIENTO FISICOQUIMICO DE AGUAS TURBIAS DE LA MINERA AURIFERA TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L CAMANTI- QUINCE MIL”.

(Investigación Tecnológica)

El propósito y la aplicación de este trabajo es sedimentar los sólidos suspendidos del agua cumpliendo los parámetros establecidos por la norma del DS 010-2010 MINAM, también como material de uso bibliográfico para la comunidad universitaria y personas interesadas en el presente material porque se ha trabajado específicamente con el control de las variables a nivel de laboratorio con el equipo test de jarras que permitió obtener datos óptimos que se puedan aplicar en la actividad minera.

DEDICATORIA

Con cariño y aprecio a mi Padre y
a la memoria de mi madre, por su
incondicional y fiel
apoyo para lograr el objetivo
deseado.

Álvaro Huamán Quispe

Con el respeto, cariño y aprecio a mis padres,
quienes con su apoyo y
consejo hicieron posible este objetivo
alcanzado.

José Américo Betancurt Palomino

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro Asesor Julio Danilo Bustamante Jaen que nos brindó su apoyo en la realización de la tesis de investigación. A todos y cada uno de los docentes que nos impartieron sus conocimientos, agradecemos el apoyo incondicional brindado en el laboratorio fisicoquímico de la Escuela la Profesional de Química de la Facultad de Ciencias de la UNSAAC del profesor Washington Candía Amaout.

Agradecemos a nuestros padres a quienes desde el inicio de nuestras vidas nos llevaron por un buen camino, y aunque es una forma mínima de agradecer por todo su esfuerzo y dedicación solo queremos que sepan que todos nuestros logros son sus logros.

Gracias por todo.

Álvaro Huamán Quispe

José Américo Betancurt Palomino

INTRODUCCION

Uno de los más grandes desafíos que enfrenta la humanidad es la contaminación del agua, esta es esencial para la vida, necesaria para el desarrollo económico y social de las poblaciones, así como para el mantenimiento del equilibrio medioambiental de los ecosistemas.

Al visitar la zona de operaciones perteneciente a la EMPRESA MINERA AURÍFERA TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. se observó la forma de operar, los recursos y equipos empleados, la infraestructura disponible y las áreas de explotación donde los depósitos de oro son aluviales.

En dichas operaciones de concentración por gravimetría el problema latente es la turbidez de las aguas producto de los efluentes líquidos descargados del proceso de beneficio en el lavado de mineral.

La principal limitación que se da con las operaciones gravimétricas, es que no se tienen parámetros técnicos de monitoreo de la turbidez y SST del efluente líquido descargado, dando origen a un problema ambiental al contener partículas finas y ultra finas de limos y arcillas por el lavado de la grava aurífera contaminando el agua. Se realizó una evaluación preliminar con las muestras de este efluente y revela la naturaleza sumamente lamosa de estas aguas; con alta concentración de sólidos en suspensión.

Este trabajo tuvo como objetivo obtener agua limpia por tratamientos fisicoquímicos de acuerdo a las normas legales evaluando alternativas en la selección de productos químicos, optimización de las etapas de coagulación, floculación y sedimentación en el proceso de clarificación; mejoramiento de la calidad del agua tratada en términos de turbiedad, SST, pH y demostrar que se

cumple con la norma legal respecto LMP del agua en la Empresa Minera Aurífera TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. Camanti - Quincemil.

Por este motivo el trabajo se dividió por capítulos:

Capítulo I, se trata de las generalidades en este acápite se da conocer el problema, los objetivos e hipótesis que intervienen en la investigación.

capítulo II, nos ocupamos sobre el marco teórico conceptual los antecedentes y la normativa correspondiente. Teniendo en cuenta los conceptos o definiciones de las variables independientes y la variable dependiente.

Capítulo III, realizamos con base al diagrama de flujo el diseño metodológico del trabajo de investigación.

Capítulo IV, damos a conocer los resultados obtenidos a nivel de laboratorio y el análisis factorial 2^3 que comprende al diseño experimental

TRATAMIENTO FISICOQUIMICO DE AGUAS TURBIAS DE LA MINERA AURIFERA TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. CAMANTI- QUINCEMIL-2018

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo principal obtener agua limpia por tratamientos fisicoquímicos en la empresa minera aurífera Tunquimayo Mining La metodología que se siguió era primero caracterizar el efluente líquido a nivel de laboratorio que indica una alta turbidez en el agua de 3893 NTU y una alta concentración de SST de 2360 mg/L en este sentido la norma legal respecto al uso del agua no se cumple.

Se abordan conceptos generales del tratamiento de aguas por operaciones de coagulación y floculación. Se realizan pruebas preliminares, en la selección del coagulante y floculante controlando la turbiedad y el pH. En el proceso influyen una serie de factores que inciden en la selección de reactivos, para lo cual es necesario hacer el “Test de Jarras”.

Se realizaron una serie de pruebas de coagulación – floculación donde interviene una tercera variable independiente para evaluar la influencia de este, y lograr buenos resultados El método por el cual se determinaron dichos resultados óptimos fue mediante el test de jarras y estas dosis fueron escogidas tomando como base el cumplimiento de la norma que obtuvo una turbiedad de 6.07 NTU y un pH de 7.21 con una reducción de SST de 20 mg/L y obtener un rango en los niveles máximos y mínimos de las variables.

Para corroborar nuestros resultados se estableció el diseño experimental, con la finalidad de explicar las variables más significativas del proceso, se utilizó el software estadístico Statgraphics. Luego a nivel de laboratorio se estableció 11 pruebas, siendo 8 pruebas experimentales y tres réplicas en el centro con la finalidad que el diseño experimental sea el más adecuado. En la prueba 10, se demostró que existe mejor remoción de turbiedad y 6.72 de pH alcanzando el 99.79 %, de eficiencia trabajando con las variables: dosis de coagulante 4 ml, dosis de floculante 1.5 ml, y dosis del regulador de pH 3 ml siendo más influyentes la Dc y DRpH

estas dosis fueron escogidas tomando como base el cumplimiento del Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM,

Palabras clave: Tratamiento de aguas, coagulación-floculación, test de jarras.

ABSTRACT

PHYSICOCHEMICAL TREATMENT OF TURBITIC WATERS OF THE MINERA AURIFERA TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. CAMANTI- QUINCEMIL-2018

SUMMARY

The main objective of this research work is to obtain clean water by physicochemical treatments at the Tunquimayo Mining gold mine. The methodology that was followed was to first characterize the liquid effluent at the laboratory level that indicates a high water turbidity of 3893 NTU and a high concentration of SST of 2360 mg / L in this sense the legal norm regarding the use of water is not met.

General concepts of water treatment by coagulation and flocculation operations are addressed. Preliminary tests are carried out, in the selection of coagulant and flocculant, controlling turbidity and pH. In the process influence a number of factors that affect the selection of reagents, for which it is necessary to make the "Jar Test".

A series of coagulation - flocculation tests were performed, where a third independent variable intervenes to evaluate the influence of this, and achieve good results. The method by which these optimal results were determined was by the jar test and these doses were chosen taking as base compliance with the standard that obtained a turbidity of 6.07 NTU and a pH of 7.21 with a reduction of SST of 20 mg / L and obtain a range in the maximum and minimum levels of the variables.

To corroborate our results, the experimental design was established, with the purpose of explaining the most significant variables of the process, statistical software Statgraphics was used. Then, at the laboratory level, 11 tests were established, with 8 experimental tests and three replications at the center with the purpose that the experimental design is the most appropriate. In test 10, it was demonstrated that there is better turbidity removal and 6.72 of pH reaching 99.79%, of efficiency working with the variables: coagulant dose 4 ml, flocculant dose 1.5 ml, and pH regulator dose 3 ml being most influential the Dc and DRpH

These doses were chosen based on compliance with Supreme Decree N ° 010-2010-MINAM,

Keywords: Water treatment, coagulation-flocculation, jar test.

INDICE

PRESENTACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INTRODUCCION	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INDICE	viii
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvi
NOMENCLATURA	xviii
CAPITULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1. Situación problemática.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4.1. Tecnológica.....	5
1.4.2. Económica.....	5
1.4.3. Social.....	6
1.4.4. Ambiental.....	6
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	7
1.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.7. UNIVERSO Y MUESTRA.....	8
1.8. HIPOTESIS:.....	8
1.9. VARIABLES.....	8
1.9.1. Variable independiente.....	8

1.9.2.	Variable dependiente.	8
1.10.	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.	9
1.11.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.	10
CAPITULO II		11
MARCO TEORICO CONCEPTUAL		11
2.1.	ANTECEDENTES.....	11
2.1.1.	A nivel internacional.....	11
2.1.2.	Nacionales.....	14
2.1.3.	Locales.....	15
2.2.	LEGISLACION SOBRE VERTIMIENTOS.....	17
2.2.1.	Normativa Europea Normativa Española.....	18
2.2.2.	Marco Legal Colombiano.....	19
2.2.3.	Marco Legal Nacional.....	21
2.2.3.1.	Decreto supremo N° 010 -2010-MINAM.....	22
2.3.	DEFINICIONES BÁSICAS SOBRE LA QUÍMICA DEL AGUA.....	25
2.3.1.	Estructura química del agua.....	26
2.3.2.	Características del agua.....	27
2.3.2.1.	Color.....	28
2.3.2.2.	Turbiedad.....	29
2.3.2.3.	pH.....	30
2.3.3.	Naturaleza Química de la Turbiedad.....	31
2.3.4.	Comparación entre las características del color y la turbiedad.....	32
2.4.	CONTAMINACIÓN DE EFLUENTES CON MATERIAS EN SUSPENSIÓN.....	33
2.4.1.	Aguas Residuales.....	33
2.4.1.1.	Características de las aguas residuales.....	34
2.4.1.2.	Calidad del agua.....	35
2.4.1.2.1.	Límites Máximos Permisibles.....	35
2.5.	CONTENIDO DE SÓLIDOS EN AGUAS NATURALES.....	36
2.5.1.	Relación entre turbidez y sólidos en suspensión.....	37
2.5.2.	Tamaño de las partículas en suspensión.....	38

2.5.3.	Coloides.....	38
2.5.3.1.	Sistemas coloidales.....	39
2.5.3.2.	Forma de los coloides.....	40
2.5.3.3.	Propiedades de los coloides.....	40
2.5.4.	Suspensiones Coloidales.....	42
2.5.5.	Estabilidad de las suspensiones coloidales.....	43
2.5.6.	Potencial Zeta.....	45
2.6.	PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.....	47
2.6.1.	Mecanismo de la coagulación.....	48
2.6.2.	Etapas del proceso de coagulación.....	50
2.6.3.	Factores que influyen en la coagulación.....	51
2.6.3.1.	Influencia del pH.....	51
2.6.3.2.	Temperatura del agua.....	52
2.6.3.3.	Influencia del Tipo y cantidad de coagulante.....	52
2.6.3.4.	Tiempo de mezcla y floculación (periodo de coagulación).....	53
2.6.4.	Tipos de coagulación.....	53
2.6.4.1.	Coagulación por adsorción.....	53
2.6.4.2.	Coagulación por Barrido.....	54
2.6.5.	Floculacion.....	55
2.6.5.1.	Tipos de floculación.....	56
2.6.5.1.1.	Floculación Pericinética.....	56
2.6.5.1.2.	Floculación Ortocinética.....	57
2.6.6.	Reactivos más utilizados y reacciones químicas de la coagulación y floculación.....	57
2.6.6.1.	Poliectrolitos.....	59
2.6.7.	La coagulación y la floculación en la práctica:.....	61
2.6.8.	Test de jarras.....	62
2.6.8.1.	Condiciones operativas del test de jarras.....	63
2.7.	SEPARACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS POR SEDIMENTACIÓN.....	66
2.7.1.	Sedimentación.....	66
2.7.1.1.	Tipos de sedimentación.....	69

2.8.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	71
2.8.1.	Objetivos de un diseño experimental.....	71
2.8.2.	Terminología.....	71
2.8.3.	Etapas de optimización.....	72
2.8.4.	Etapas SCREENING.....	72
2.8.5.	Diseño factorial 2^3	72
2.8.6.	Cálculo de efectos.....	74
2.8.7.	Análisis de varianza.....	75
2.8.8.	Modelo matemático.....	76
2.8.8.1.	Decodificación del modelo matemático a escala natural.....	77
CAPITULO III.....		78
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....		78
3.1.	ÁMBITO DE LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA.....	78
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	78
3.3.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	79
3.4.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	80
3.5.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	80
3.6.	UNIVERSO Y MUESTRA.....	81
3.7.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	81
3.7.1.	Técnicas.....	82
3.7.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	82
3.8.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE ANALISIS DEL AGUA TURBIA.....	83
3.9.	MUESTRA DE ESTUDIO.....	84
3.9.1.	Equipos e instrumentos.....	84
3.9.2.	Muestreo.....	86
3.10.	CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE.....	87
3.10.1.	Determinación de sólidos.....	87
3.11.	PRUEBAS FISICOQUIMICAS.....	89
3.11.1.	Condiciones de operación.....	91
3.11.2.	Pruebas preliminares.....	92

3.11.3. Pruebas de coagulación y floculación.....	93
3.11.4. Diseño del experimento.	97
3.12. VERIFICAR LOS VALORES LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	98
CAPITULO IV	99
RESULTADOS Y ANALISIS.....	99
4.1. CARACTERIZACION DEL AGUA TURBIA.....	99
4.1.1. Determinación de los sólidos.....	102
4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES.....	103
4.2.1. Selección del coagulante.....	103
4.2.2. Selección de floculante.	105
4.3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COAGULACION – FLOCULACION.	112
4.3.1. Comportamiento del coagulante en la primera serie.....	112
4.3.2. Comportamiento del regulador de pH en la segunda serie:	116
4.3.3. Comportamiento del floculante en la tercera serie.	120
4.3.4. Resultados generales de la serie de pruebas que se realizó.	124
4.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	124
4.4.1. Objetivo del experimento.....	124
4.4.2. Variable en escala natural y codificada con replicas en el centro para la turbiedad. 125	
4.4.3. Cálculo de los efectos estimados para el porcentaje de remoción de turbiedad. ..	127
4.4.4. Análisis de varianza del diseño factorial para la turbiedad.....	132
4.4.5. Modelo matemático para turbiedad	133
4.5. DEMOSTRAR LOS VALORES LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	134
CONCLUSIONES.....	136
RECOMENDACIONES	138
BIBLIOGRAFIA.....	139
ANEXOS.....	144
ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	145
ANEXO 02: DECRETO SUPREMO N° 010-2010-MINAM	146
ANEXO 03: LOCALIZACION POLITICA Y GEOGRAFICA.....	150

ANEXO 04: SOLICITUD Y CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO.....	153
ANEXO 05: INFORMES DE ANALISIS DE LABORATORIO.....	155
ANEXO 06: HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD MSDS	157
ANEXO 07: PANEL FOTOGRAFICO	171

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Normatividad en materia de calidad de aguas	18
Tabla 2 Parámetros fisicoquímicos a monitorear.....	20
Tabla 3 Límites máximos permisibles para actividad minera.....	25
Tabla 4 Características del agua.....	28
Tabla 5 Diferencias entre color y turbiedad.....	32
Tabla 6 Clasificación de vertidos.....	33
Tabla 7 Comparación de mediciones entre turbidez y SST.....	37
Tabla 8 Efecto al disminuir el tamaño de las esferas.....	41
Tabla 9 Matriz de diseño para $k = 3$	74
Tabla 10 Equipos e instrumentos empleados durante el test de sólidos	84
Tabla 11 Equipos e instrumentos empleados durante el test de jarras.....	85
Tabla 12 Referencias del agitador mecánico construido	86
Tabla 13 Parámetros operativas del test de jarras.....	91
Tabla 14 Variables del diseño experimental.....	96
Tabla 15 Variables del proceso.....	96
Tabla 16 Variable en escala natural y codificada con replicas en el centro.....	98
Tabla 17 Caracterización del agua durante el proceso.....	100
Tabla 18 Comparación de parámetros.....	101
Tabla 19 Sólidos iniciales antes del tratamiento.....	102
Tabla 20 Solución madre de reactivos.....	103
Tabla 21 Resultados (R1) con el sulfato de aluminio	104
Tabla 22 Resultados (R2) con el cloruro férrico.....	104
Tabla 23 Resultados (R3) con el Seperan MG 200.....	106
Tabla 24 Resultados (R4) con el Flopam PHP 40	106
Tabla 25 Resumen de observaciones en la selección de reactivos	108
Tabla 26 Resumen de los resultados óptimos en la selección de coagulantes y floculantes	111
Tabla 27 Reactivos seleccionados.....	111
Tabla 28 Resultados de la primera serie de pruebas.....	113

Tabla 29 Resultados de turbiedad, pH y eficiencia de la primera serie.	113
Tabla 30 Resultados de la primera serie de pruebas.	115
Tabla 31 Resultados de la segunda serie de pruebas.	116
Tabla 32 Resultados de turbiedad y pH de la segunda serie.	117
Tabla 33 Resultados de la segunda serie de pruebas.	119
Tabla 34 Resultados generales de la tercera serie.	120
Tabla 35 Resultados de turbiedad y pH de la tercera serie.	121
Tabla 36 Resultados de la tercera serie de pruebas.	122
Tabla 37 Mejores resultados obtenidos del proceso de coagulación- floculación.	124
Tabla 38 Variables y niveles del proceso.	125
Tabla 39 Plan experimental.	126
Tabla 40 Efectos estimados para Turbiedad residual (NTU).	128
Tabla 41 Tabla ANOVA.	132
Tabla 42 Coeficiente de regresión para Turbiedad.	133
Tabla 43 Solidos finales después del tratamiento.	134
Tabla 44 Comparación de parámetros finales.	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Flujo Beneficio Gravimétrico	2
Figura 2 Puente de hidrógeno entre moléculas de agua.....	27
Figura 3 Solidos disueltos y suspendidos en sus diferentes formas.	36
Figura 4 Clasificación e intervalos de tamaños de partículas presentes en el agua.....	38
Figura 5 La forma más común de partículas coloidales	40
Figura 6 Modelo de doble capa.....	43
Figura 7 Estabilidad de los colides	44
Figura 8 Potencial Zeta	46
Figura 9 Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa.....	49
Figura 10 etapas de la coagulación.....	51
Figura 11 Coagulación sobre Adsorción.	54
Figura 12 Coagulación por Barrido.	55
Figura 13 El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes y fácilmente sedimentables.	56
Figura 14 Equipo test de jarras	62
Figura 15 Mecanismo de sólidos en suspensión sedimentables	66
Figura 16 Proceso empleado para remover solidos suspendidos por acción de la gravedad.....	68
Figura 17 Elementos del diseño.....	73
Figura 18 Diagrama de flujo del método	83
Figura 19 Agitador mecánico construido.....	90
Figura 20 Comportamiento de la turbiedad frente a los resultados óptimos.	109

Figura 21 Comportamiento del pH frente a los resultados óptimos.	110
Figura 22 Comportamiento del % remoción frente a la dosis de coagulante	115
Figura 23 Comportamiento de la turbiedad residual y el pH resultante frente a la dosis de coagulante	116
Figura 24 Comportamiento del % remoción frente a la dosis del regulador de pH.	119
Figura 25 Comportamiento de la turbiedad residual y el pH resultante frente a la dosis del auxiliar de coagulante	120
Figura 26 Comportamiento del % remoción frente a la dosis de floculante.....	123
Figura 27 Comportamiento de la turbiedad residual y el pH resultante frente a la dosis de floculante.....	123
Figura 28 Contornos de la superficie de respuesta estimada.....	126
Figura 29 Diagrama de Pareto	129
Figura 30 Efectos principales para turbiedad.	130
Figura 31 Interacción de variables.....	131
Figura 32 "Shute Portatil"	171
Figura 33 Cause de rio afectado	171
Figura 34 Pruebas de Coagulación - Floculación insitu	172
Figura 35 Construcción de equipo Jar test.....	172
Figura 36 Equipo Jar test concluido	173
Figura 37 Pruebas preliminares	173

NOMENCLATURA

T	Tiempo
T°	Temperatura
°C	Grados Celsius (centígrado)
S	Segundo
min	Minuto
cm ²	Centímetro cuadrado
m ³	Metro cubico
km ³	Kilometro cubico
inch	Pulgada
Hp	Horsepower
g	Gramo
mg	Miligramo
mm	Milímetros
gr/L	Gramos por litro
mg/L	Miligramos por litro
μ	Micra
ppm	Partes por millón
cm/min	Centímetros por minuto
ml	Mililitros
L	Litros
μm	Micrómetro

nm	Nanómetro
kg	Kilogramos
TM	Toneladas métricas
%E	Porcentaje de eficiencia
rpm	Revoluciones por minuto
pH	Potencial de Hidrogeno
Dc	Dosis de coagulante
Df	Dosis de floculante
DRpH	Dosis de regulador de pH
NTU	Unidades nefelometricas de turbiedad
DBO	Demanda bioquímica de oxigeno
ECA	Estándares de calidad ambiental
LMP	Límites máximos permisibles
STT	Solidos totales totales
SST	Solidos suspendidos totales
SDT	Solidos disueltos totales
MINAM	Ministerio del ambiente

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1.Situación problemática.

Desde la época de los Incas en la región que hoy ocupa el poblado de Quince Mil(Camanti), muy cerca al río Marcapata vivían los indios Arazaires, ellos conocían que al otro lado de Marcapata se encontraban ríos auríferos tales como el PAN DE AZUCAR y AZUL MAYU y que pasando las cumbres del Cerro Macho y que recorriendo la vertiente del río Yanamayu Chico se llegaba al cauce del gran RIO NUSINISCATO, rico en oro junto al río Santa Isidora, Tantamayu, Pipitayoc, Quitary, Yanamayu Grande, ríos que fueron explotados con canales de madera o canales empedrados empleados en trabajos artesanales antiguos. La zona es tan rica en oro, que pareciera que el territorio integro es un gran “PLACER”, ya que hasta en la cumbre de los cerros se encuentra oro. (Quispe, 2012)

Al visitar la zona de operaciones perteneciente a la EMPRESA MINERA AURIFERA TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. en la Unidad Minera Metálica “**8 de Diciembre Uno**” de calificación vigente de pequeño productor minero se observan durante el circuito de todo el proceso, las etapas que contemplan; método de extracción, recuperación metálica, mineralización, documentación ambiental, seguridad e higiene ocupacional; equipos empleados y la infraestructura disponible en la ejecución de los trabajos de explotación y preservación del medioambiente.

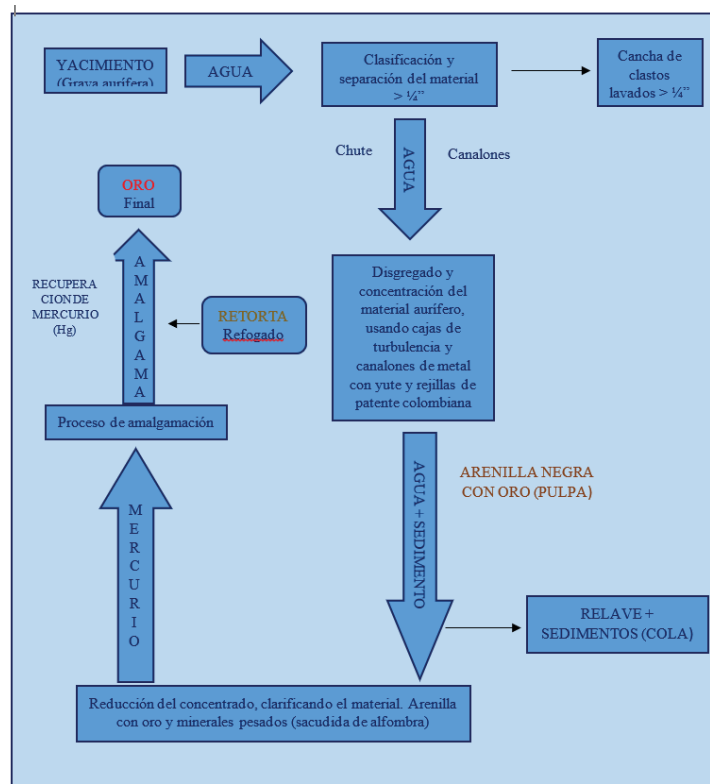
Esta unidad minera del sector Boca Quitari explota zonas donde los depósitos auríferos son de placeres y aluviales se ubican a lo largo de los ríos, principalmente en las partes bajas donde la

degradación fluvial es activa y por donde la carga de los ríos es constituida de arenas, limos y arcillas.

El método utilizado para la obtención del mineral aurífero es semi - mecanizado, para ello se hace uso de excavadoras, cargador frontal de capacidad de servicio de 1.5 m³; luego se utiliza un “chute” para el lavado de las gravas, y una motobomba para el abastecimiento de agua.

La explotación de la grava aurífera, se realiza por el sistema conocido como “Excavación en Pie de Monte”, que consiste en la extracción de grava en áreas localizadas de antiguos cauces, los mismos que por procesos de dispersión vegetal actualmente se encuentran cubiertas por vegetación y canto rodado, como se puede observar en la figura 1.

Figura 1 Diagrama de Flujo Beneficio Gravimétrico



Fuente: Elaboración propia

Este método de extracción se hace con excavadoras que desprenden el mineral de las terrazas bajo el suelo el material extraído es llevado con el excavador hacia el módulo o “shute” que es una tolva metálica de 4 a 5 metros de largo, por dos de ancho y tres de altura. En este depósito se almacena y lava la grava aurífera con agua a presión generando un consumo de 1240 m³ /día mediante un equipo que comprende un motor de 45 HP de potencia, con una bomba centrífuga de alta presión y las respectivas mangueras; que luego se desliza hacia una zaranda que recibe el material mayor a ¼ inch el resto cae a las canaletas de recuperación que conduce y descarga la pulpa a la rejilla de patente colombiana para la selección de los gruesos y finos, estos últimos discurren en la canaleta que está cubierta con alfombra donde se recupera el concentrado valioso.

En dichas operaciones de concentración por gravimetría el problema latente es la turbidez de las aguas producto de los efluentes líquidos descargados del proceso de beneficio en el lavado de mineral. La falta de parámetros técnicos en el control de la turbiedad del agua para lavar el mineral influye en la recuperación de oro y sea esta ineficiente.

La falta de control en el uso del agua da origen a un problema ambiental, la turbiedad que al contener partículas finas y ultra finas de limos y arcillas húmicas por el lavado de la grava aurífera contaminan el agua con sólidos en suspensión. Se tomaron muestras para una evaluación preliminar para el tratamiento de este efluente, revela la naturaleza sumamente lamosa de estas aguas; con alta concentración de sólidos en suspensión.

La contaminación de los cursos de agua es evidente ya que el lavado del mineral requiere de grandes cantidades de agua.

El agua turbia impide que los rayos solares lleguen al fondo del río imposibilitando el desarrollo de plancton y otras plantas acuáticas, asimismo dificulta la difusión de moléculas de oxígeno a

través de las branquias de los peces, creando efectos negativos sobre el ecosistema. (Kuramoto, 2001)

Es necesaria la reducción y subsanación de los impactos que ocasiona esta actividad, para preservar, conservar, mejorar y restaurar, la calidad del agua se lograra identificando y controlando los factores de riesgo.

Para su adecuación al parámetro de solidos totales suspendidos se debe cumplir con el marco legal nacional que establece valores límites máximos permisibles en el uso del agua en la actividad minera.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema General

¿Es posible realizar un tratamiento fisicoquímico de las aguas turbias generadas por la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil?

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general.

Obtener agua limpia por tratamientos fisicoquímicos de las aguas turbias generadas por la Empresa Minera Aurífera **Tunquimayo Mining E.I.R.L.** Camanti – Quincemil.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar las aguas turbias generadas por la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil.
- Realizar ensayos fisicoquímicos usando el equipo test de jarras para clarificar el agua en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil.

- Determinar las condiciones fisicoquímicas del proceso y optimizar experimentalmente aplicando herramientas estadísticas (software) en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil.
- Demostrar a través de pruebas experimentales, lograr alcanzar los valores límites máximos permisibles establecidos por la norma con las aguas turbias generadas por la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil.

1.4.JUSTIFICACIÓN.

1.4.1. Tecnológica.

Desde el punto de vista tecnológico es posible realizar tratamientos fisicoquímicos al agua, actualmente existen tecnologías que permiten reducir la turbidez, sedimentar los sólidos suspendidos, controlar el pH mediante el uso de reactivos químicos como coagulantes, floculantes, auxiliares de coagulación y reguladores de pH desarrollando técnicas para una serie de pruebas con el equipo test de jarras, por el cual se hace técnicamente viable el monitoreo y recuperación del agua con el tratamiento de este recurso en la Empresa Minera Aurifera **TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L.**

1.4.2. Económica.

La minería es una actividad fundamental para el desarrollo de la economía peruana y la inversión minera en operaciones de beneficio gravimétrico termina siendo muy rentable Si actualmente el MINAM no sería inflexible en cuanto al uso de aguas para actividades mineras auríferas, solo por contaminar con materiales suspendidos recaería una multa. Los costos de tratamiento de aguas no son tan halagadores, en cuanto al costo de los reactivos es bajo por el cual

favorece a la misma empresa y justifica este tratamiento económicamente y evitar la contaminación. Además el cambio en la calidad del agua no representa una condición normal porque esta no ha sido tratada para reutilizarla con el requerimiento de tecnología adecuada para que se pueda elevar la eficiencia de las operaciones auríferas porque la gravimetría se perjudica con aguas turbias que tienen más de 1.010 gr/Lt. (CONSULCONT-SMALLVILL, 2006)

1.4.3. Social.

La Responsabilidad Social es el compromiso que tiene la empresa con la sociedad donde se desarrolla. Cuanto costo tiene traer agua de otra zona, pero si existe agua en la zona y se recicla el agua eso significa ahorro y el ahorro significa incremento y el incremento significa darle mayores ganancias a la empresa y a los trabajadores y esta agua posiblemente podría servir como consumo humano. También los recursos humanos están en constante crecimiento, puesto que existe profesionales, técnicos de mando medio y mano de obra no calificada que se encuentran desempleados porque en el campo de tratamientos de aguas no se está desarrollando adecuadamente en nuestro país, que implica una fuerza laboral que se está perdiendo y el respeto por la conservación del medio ambiente, el cuidado de la salud y seguridad de los trabajadores, así como el apoyo al desarrollo sostenible de las comunidades aledañas. La falta de un buen gobierno pone de manifiesto: la generación de empleo, reducción de la pobreza, desarrollo local, obtención de divisas, ingresos fiscales y otros.

1.4.4. Ambiental.

El uso inadecuado de las aguas genera efluentes líquidos descargados turbios en esta actividad, constituye uno de los primeros aspectos que causan deterioro ambiental, ya que en

torno a los recursos hídricos existe una constante preocupación por la posible variación en su cantidad y calidad, lo que podría afectar otras actividades económicas, como la agricultura, la ganadería, la misma actividad minera aurífera y sobre todo los ecosistemas existentes en la zona de operaciones. Por esta razón, como parte de la política de responsabilidad ambiental cada empresa debe implementar acciones para el uso adecuado y responsable del agua como Gestión en los recursos Hídricos, infraestructura hídrica, para el bienestar de la sociedad y ecosistemas. La ausencia de controles en los parámetros de estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles en la Unidad Minera Metálica “**8 de Diciembre Uno**” Camanti - Quincemil han llevado en los últimos años a la alteración del medio ambiente que no contribuyen con la minería responsable que aporta estudios ambientales, monitoreos participativos, proyectos de revegetación y forestación en el área de explotación.

1.5.LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.

La condición fundamental de nuestra investigación consistió en la complejidad del estudio de las interacciones de las variables que definen y caracterizan la calidad del agua, mediante la ejecución de una serie de ensayos con el equipo test de jarras a nivel laboratorio hasta obtener el resultado requerido.

1.6.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño de la investigación a emplearse es de causa y efecto porque cumple con el propósito de manipular las variables y evaluar la influencia e interacción de las variables independientes frente a la variable dependiente. El trabajo es experimental porque nos permite identificar los valores óptimos de las variables a analizar mediante el método inductivo y deductivo.

1.7.UNIVERSO Y MUESTRA.

Todo el material removido que enturbian las aguas contiene arcillas, limos, gravas, arenas, materiales orgánicos, en la Unidad Minera Metálica “**8 de Diciembre Uno**” **Camanti - Quincemil** provincia de Quispicanchis región Cusco donde opera la minera aurífera.

Se tomaron 40 litros de muestra representativa para un análisis preliminar de los efluentes líquidos descargados revela la naturaleza sumamente lamosa de estas aguas; evacuando aguas turbias con alta concentración de sólidos en suspensión durante su operación.

1.8.HIPOTESIS:

Utilizando tratamientos fisicoquímicos de las aguas turbias se obtiene agua limpia que cumple con los valores límites máximos permisibles de acuerdo a las normas legales en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil.

Para sustentar esta afirmación en las pruebas experimentales se utilizará el diseño factorial tomando en cuenta las variables: dosis de coagulante, dosis de floculante, dosis del regulador de pH, a niveles máximos y mínimos.

1.9.VARIABLES.

1.9.1. Variable independiente.

- Dosis coagulante (mg/L)
- Dosis de floculante (mg/L)
- Regulador de pH (mg/L)

1.9.2. Variable dependiente.

- Turbiedad (NTU)

- Sólidos suspendidos totales (mg/L)

1.10. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Se utilizaron técnicas de recolección de información y clasificación de datos de la siguiente forma:

- Entrevista.
- Información bibliográfica.
- Documentos
- Publicaciones.
- Observación
- Diagramas de flujo
- Recopilación y análisis de datos.
- Trabajos de investigación
- Información en tratamiento de aguas de empresas Mineras Metalúrgicas.
- Internet mediante las páginas web.
- Recolección de datos para la muestra para cada ensayo.
- Recolección de datos para el análisis químico.
- Recolección de datos con las diversas técnicas instrumentales
- Recolección de datos para el diseño experimental.
- Recolección de datos de análisis estadístico.
- Recolección de datos para los resultados.

Los datos obtenidos sobre las variables involucradas en la investigación serán objeto de

medición para alcanzar las observaciones de interés, durante los ensayos fisicoquímicos de coagulación y floculación y la determinación de sólidos.

1.11. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

Se procedió con la revisión y análisis de los datos obtenidos se codifico, tabulo para su interpretación elaborando tablas y graficas estadísticas para establecerlo como información primaria para luego ser aplicadas en la obtención de la información secundaria que reflejan los resultados a partir del adecuado tratamiento de los datos obtenidos y se les aplicara las técnicas estadísticas que permitan obtener los resultados más óptimos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1.ANTECEDENTES.

Para realizar el estudio sobre tratamientos fisicoquímicos de agua turbia y obtener agua libre de sedimentos, se recurrió a la búsqueda de información de trabajos de investigación y otros referidos al tema en mención, de los cuales detallamos los siguientes:

2.1.1. A nivel internacional.

Ríos, J. (2014), en su trabajo validación de técnicas instrumentales turbiedad y pH para el tratamiento de agua potable en la planta de tratamiento EMPOCABAL. ESP-E.I.C.E. Cuyo objetivo general es validar las técnicas instrumentales de turbiedad y pH para el análisis de agua potable de la empresa EMPOCABAL. ESP-E.I.C.E. verificando que cumpla con los requerimientos del decreto 1575 de 2007 y la resolución 2115 de 2007 donde se establecen parámetros fisicoquímicos para el agua, de esta manera mejorando los estándares de calidad.

Se realizó la validación de la metodología la cual consistió en realizar mediciones de pH y turbiedad en cinco diferentes puntos de salida del agua potable de la empresa EMPOCABAL. E.S.P-E.I.C.E.

Los resultados de las mediciones de agua potable se sometieron a un análisis estadístico descriptivo, de esta manera se analizó y comparó con los parámetros fisicoquímicos de la normatividad vigente anteriormente mencionados, los datos recolectados del patrón primario y secundario se estudiaron por medio de un análisis de varianza una vía (ANOVA). Obteniendo que en la técnica de pH no hallan diferencias significativas en las mediciones tomadas en diferentes

días, mientras que en la técnica de turbiedad si se encuentran diferencias y una baja precisión y exactitud para soluciones con turbiedad igual o menor a 0,1 NTU.

Las conclusiones a la que llego en el presente trabajo fueron:

- En este trabajo se validaron satisfactoriamente los procedimientos de las técnicas para la determinación de turbidez y pH en el laboratorio de EMPOCABAL E.S.P-E.I.C.E.
- incluyendo nuevos equipos para minimizar los errores a la hora de hacer la lectura en el turbidímetro.
- Se documentaron los procedimientos de turbidez y pH en el laboratorio de EMPOCABAL E.S.P-E.I.C.E.
- Se efectuó este trabajo por medio de un análisis de varianza Mono factorial (ANDEVA) más conocido por sus siglas en ingles Analysis of variance oneway (ANOVA).
- Este trabajo se efectuó para la mejora de los procedimientos de las técnicas para la determinación de turbidez y pH en el laboratorio de EMPOCABAL E.S.P-E.I.C.E. consiguiendo una mejoría del agua potable entregada por el acueducto.

(Ríos Rodríguez, 2014)

Castrillon & Giraldo, (2012), en su trabajo determinación de las dosis óptimas de coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa santana cuyos resultados obtenidos después de realizar el test de jarras arrojaron resultados óptimos en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos analizados y el cumplimiento de ellos según la norma.

Las conclusiones al que llegaron con este trabajo fueron:

Se evidenció que los parámetros fisicoquímicos del agua varían en relación con el tiempo climático, ya que los días que se presentaban precipitaciones eran los días donde se recolectaban muestras con mayor variación de la turbiedad.

El sulfato de aluminio granulado tipo B es un coagulante efectivo para el tratamiento de aguas para consumo humano dado que se presentaron buenos porcentajes de remoción de la turbiedad y color en las muestras de agua cruda analizada.

Se observó que no existe una correlación lineal entre la dosis óptima aplicada de coagulante y la turbiedad del agua cruda dado que en los ensayos experimentales se obtuvieron resultados con dosificaciones mayores en muestras de turbiedades bajas mientras que en turbiedades altas se emplearon dosificaciones menores. Esto se debe a que en turbiedades menores las partículas suspendidas son más pocas lo que dificulta las colisiones entre ellas para formar el floc requiriendo más adición de coagulante.

Después del tratamiento con el coagulante el pH de la muestra disminuye muchas veces quedando fuera del rango que exige el decreto 1575, por eso en la planta de tratamiento de Villa Santana se cuenta con una adición posterior de Cal.

Se logró construir las tablas y graficas donde se relacionan los parámetros fisicoquímicos estudiados y las dosis óptimas de coagulante Sulfato de Aluminio granulado tipo B necesarias, que servirán como parámetro base para el tratamiento de agua potable en la planta de tratamiento de Villa Santana. (Daniela & Giraldo, 2012)

2.1.2. Nacionales.

Requena, M.A. (2008) en su trabajo sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales en UEA ANIMON DE EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR SAC. Que tuvo como alcance y objetivos los siguientes puntos:

- Adecuar los vertimientos industriales de EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR S.A.C. a los parámetros establecidos por la Ley General de Aguas para Clase VI, en cumplimiento de la R.D. 0715-2006-DIGESA.
- Cumplir con la Normatividad Legal Vigente; Ley General de Aguas N° 17752, DS N° 261-69-AP.
- Adecuarse a la R.D. N° 1152/2005/DIGESA/SA, del 03 de agosto de 2005, respecto a la Clasificación de Ríos y Tributarios y de Cuerpos Lénticos y Zonas Protegidas.
- Aumento de la Vida Útil de la cancha de relaves por mayor densidad de pasta generada (2,2 t/m³), menor contenido agua (20%) y menor borde libre.
- Minimizar el uso de agua fresca o de reposición proveniente de las lagunas del entorno al implementar la recirculación del agua tratada en los procesos de beneficio de minerales, así como en las operaciones de minado.
- Disminuir el vertimiento de agua tratada hacia el cuerpo receptor.
- Reducción de Costo operativo en US\$ 180 000/año por eliminación de pozas de sedimentación y transporte de lodos.
- Reducción del impacto ambiental sobre la laguna Naticocha Norte por fuga de sedimentos (observación del MEM).
- Mejora de la percepción pública de la Gestión Ambiental de la empresa.

Como resultado es el tratamiento conjunto de las aguas residuales industriales Las conclusiones de dicho proyecto muy amigable con el medio ambiente por las siguientes razones: fueron:

- Propone la recirculación de las aguas industriales tratadas a los procesos de planta de beneficio y de mina, con lo que se disminuye el consumo de agua fresca en las operaciones minero metalúrgicas.
- Preserva las fuentes naturales de agua para su utilización racional futura por parte de las comunidades del entorno, la empresa y del estado.
- Conserva la calidad natural del agua de los cuerpos receptores al disminuir los vertimientos industriales.
- Minimiza el impacto ambiental producido por el almacenamiento de los relaves en pasta ya sea en el depósito actual, así como al interior de la mina.
- Evita el impacto ambiental de un nuevo depósito de relaves al incrementar la vida útil de la cancha de relaves actual.
- Previene el impacto ambiental al aire al almacenar relave en pasta con propiedades que disminuyen la formación de polvos sobre la superficie del depósito de relaves (Requena Mendizabal, requena_mm Sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales en UEA Animón de Empresa Administradora Chungar SAC, 2009)

2.1.3. Locales.

Oswaldo & Guillermo, (1999), en su trabajo coagulación - floculación de aguas, utilizando almidón modificado de yuca. Cuyo objetivo general es lograr la Coagulación - Floculación de aguas, utilizando almidón modificado a nivel de laboratorio. El trabajo se realizó en al laboratorio de tratamiento de aguas de la Carrera Profesional de Ingeniería química de la UNSAAC.

Cuyos resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos por las normas técnicas para el agua de consumo acondicionando el agua cruda a diferentes pH desde 6.50 hasta 8.00: no influye de manera sustancial en los resultados fisicoquímicos, como también en los resultados de turbidez.

Las conclusiones de esta investigación fueron las siguientes:

- Se logró la floculación de aguas, utilizando almidón modificado en laboratorio en un rango de 0.5 a 1ppm, obteniéndose excelentes resultados.
- Las propiedades fisicoquímicas del agua inicial comparada con el agua tratada no sufren mayor alteración siendo estas del orden del 4 al 5%.
- Se obtuvo almidón modificado por tratamiento con álcalis (bases), la razón de seleccionar este método fue porque los almidones son insolubles en agua fría, y al ser tratados con bases forman geles que son solubles.
- De las pruebas de aplicación de almidón modificado con las dosis seleccionadas, se produjo una reducción del 25 al 50% en la dosis del coagulante primario y un efluente de mejor calidad que el producido mediante la sola aplicación de $Al_2(SO_4)_3$
- Utilizando el almidón modificado como ayudante de floculación de origen natural incrementa la velocidad de la disminución de la turbidez, este incremento se aprecia marcadamente a partir de los 15 minutos de iniciado la floculación, por lo que ayudaría a disminuir los costos de tratamiento.
- El uso de almidón modificado es amplio abarcando aguas de ríos, lagunas, aguas residuales, etc variando el rango de la floculación de acuerdo al tipo de agua a tratar. (Macedo & Salazar Vallenias, 1999)

2.2.LEGISLACION SOBRE VERTIMIENTOS

Los efectos de la actividad humana en las aguas naturales se pueden contemplar desde diferentes puntos de vista, en función de la alteración negativa que recibe el efluente y del origen de los vertidos.

Se establecen niveles de calidad para la evacuación de vertidos de aguas residuales urbanas e industriales en sistemas acuáticos naturales, lo cual supone un avance con respecto al concepto de calidad tradicional, ligado al uso, y constituyen una medida de protección para estos sistemas. En base a la vinculación entre calidad de aguas y sus usos, se establecen estándares y criterios de calidad específicos que definen los requisitos que ha de reunir una determinada agua para un fin concreto, requisitos que, generalmente, vienen expresados como rangos cuantitativos de determinadas características fisicoquímicas y biológicas. ((Editor), 2010)

2.2.1. Normativa Europea Normativa Española

En la tabla 1 presentamos de forma esquemática, el contenido de las Directivas que se mencionan.

Tabla 1 Normatividad en materia de calidad de aguas

	Normativa Europea	Normativa Española
Vertidos a aguas subterráneas	Directiva 80/68/CEE.	Ley de Aguas. R.D. 849/1986 Reglamento del D.P.H.
Vertidos a aguas litorales	Directiva 76/464/CEE. Directiva 91/271/CEE. Directiva 91/676/CEE.	Ley 22/1988 de Costas. R.D. 1471/1.989. R.D. 261/96 Decreto 141/996 (Andalucía).
Vertidos a aguas continentales	Directiva 76/464/CEE. Directiva 91/271/CEE. Directiva 91/676/CEE.	Ley de Aguas. R.D. 849/1986 Reglamento del D.P.H.

Fuente: Editor Wikilibros 2010 Ingeniería de aguas residuales

<https://es.scribd.com/document/273583211/Ingenieria-de-aguas-residuales-pdf>

Directiva **76/464/CEE**: relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas desde fuentes terrestres en el medio acuático.

Directiva **91/271/CEE**: relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas

Directiva **91/676/CEE**: relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en agricultura.

La nueva directiva **2000/60/CE** establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas en la Comunidad Europea. En ella se determinan las líneas a seguir para establecer los criterios de calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos, criterios que los países miembros deberán garantizar y preservar.

En esta nueva directiva se relega el concepto de calidad y se introduce el término de ESTADO DE LAS AGUAS. El estado de una masa de agua natural viene dado por su estado ecológico y su estado químico. Se considera que las aguas se encuentran en un buen estado cuando su estado ecológico y su estado químico sean buenos. Así mismo se incluye el término de “estado cuantitativo” de un agua, entendiéndose como tal una expresión del grado en que afectan a una masa de agua subterránea las extracciones directas e indirecta. ((Editor), 2010)

2.2.2. Marco Legal Colombiano.

En Colombia MINAMBIENTE (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible) mediante Resolución N° 0631 del 17 de marzo del 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones” (MINAMBIENTE, 2015)

Este resuelve en el **Capítulo 2/ Sector de Actividades Mineras.**

Artículo 10. En la tabla 2 se muestran los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles; en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería. Los parámetros fisicoquímicos que se deberán monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cuerpos de aguas superficiales serán las siguientes.

Tabla 2 *Parámetros fisicoquímicos a monitorear*

PARAMETRO	UNIDADES	EXTRACCION DE CARBON DE PIEDRA Y LIGNITO	EXTRACCION DE MINERALES DE HIERRO	EXTRACCION DE ORO Y OTROS METALES PRECIOSOS
GENERALIDADES				
PH	Unidades de pH	6.00 a 9.00	6.00 a 9.00	6.00 a 9.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150.00	150.00	150.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L O ₂	50.00	50.00	50.00
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50.00	50.00	50.00
Solidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2.00	2.00	2.00
Grasas y Aceites	mg/L	10.00	10.00	10.00
Fenoles	mg/L	0.20	0.20	0.20

Fuente: Minambiente, 2015 Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.

http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

2.2.3. Marco Legal Nacional.

La Constitución Política del Perú de 1993 (en adelante, la Constitución) recoge en el inciso 22° del artículo 2° del Capítulo I – «Derechos fundamentales de la persona», correspondiente al Título I – «De la persona y de la sociedad» reconoce como derechos constitucionales el derecho:

“A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”.

La Ley General del Ambiente designada, Ley N° 28611, refuerza el reconocimiento constitucional del derecho antes indicado y lo define de la siguiente manera:

“Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país”.

Inicialmente, mediante la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM demarcamos los límites máximos para efluentes minero- metalúrgicos que, de manera incipiente, procuraban cautelar el ambiente natural y el impacto que la actividad humana ejerce sobre este al momento de realizar sus actividades productivas. Posteriormente, mediante el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, se determinaron y definieron los límites máximos permisibles para el agua en las actividades minero-metalúrgicas, que siguen con la corriente internacional de protección y cautela ambiental. (MINAM, 2010)

Con respecto al uso de agua con fines mineros, la legislación peruana (Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM) define que cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida (agua) proveniente de labores, excavaciones, movimiento de tierras, procesamiento de minerales o tratamiento de aguas residuales es considerado como recurso para fines mineros. Se cataloga como efluente minero metalúrgico cualquier flujo de agua utilizado, se encuentre de paso o transite por el titular de la actividad minera o su área de influencia sin importar el origen de este.

Asimismo, el cuerpo normativo vigente contempla que el titular minero debe cautelar y supervisar que en todo momento la descarga de agua que realiza hacia el ambiente no exceda bajo ningún concepto los límites máximos permisibles contemplados en el propio cuerpo normativo. (MINAM, 2010)

2.2.3.1. Decreto supremo N° 010 -2010-MINAM

Según este decreto aprueba los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos para las actividades minero-metalúrgicas, Artículo 3°, inciso 3.2, da la siguiente definición:

Efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicos. Cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores que proviene de:

- a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno, cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte o cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de aguas o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público) y otros;

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

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

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

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

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

El Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM contempla como parámetros de medición de los límites máximos permisibles los siguientes:

- pH
- Sólidos totales suspendidos (STS)
- Aceites y grasas
- Cianuro total
- Arsénico total

- Cadmio total
- Cromo hexavalente
- Cobre total
- Hierro (disuelto)
- Plomo total
- Mercurio total
- Zinc total

Consecuentemente, se realizan dos tipos de mediciones del valor (en cualquier momento) que, como el mismo indica, es el valor máximo de dicho parámetro que puede contener el recurso hídrico; mientras que el denominado (valor promedio anual) responde al producto del promedio de las medidas realizadas durante doce meses consecutivos, dichos valores los podemos apreciar en la tabla 3 siguiente:

Tabla 3 Límites máximos permisibles para actividad minera

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0,80
Arsénico total	mg/L	0,10	0,08
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04
Cromo hexavalente	mg/L	0,10	0,08
Cobre total	mg/L	0,50	0,40
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1,60
Plomo total	mg/L	0,20	0,16
Mercurio total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc total	mg/L	1,50	1,20

Fuente: Decreto supremo N° 010-2010-MINAM.

<http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>

2.3.DEFINICIONES BÁSICAS SOBRE LA QUÍMICA DEL AGUA.

Para comenzar a estudiar el proceso de coagulación del agua es indispensable explicar algunos conceptos básicos, sin cuyo conocimiento no sería posible entender los procesos que se describirán posteriormente

El agua, una molécula simple y extraña, puede ser considerada como el líquido de la vida. Es la sustancia más abundante en la biosfera, donde la encontramos en sus tres estados y es además

el componente mayoritario de los seres vivos, pues compone el 65 y el 95% del peso de la mayor parte de las formas vivas es agua. (Romero Rojas, Acuiquímica, 1996)

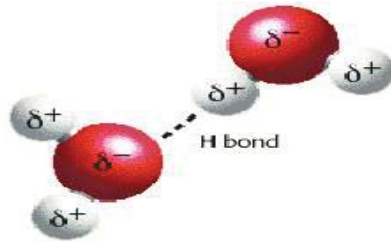
El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza, porque contienen siempre sustancias en suspensión y disueltas por lo tanto presenta sus propias características porque presentan impurezas y de acuerdo al tipo de impurezas, el agua puede aparecer como turbia o coloreada, o ambas. (Arboleda, 2000, pág. 20)

2.3.1. Estructura química del agua.

El agua es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes muy fuertes que hacen que la molécula sea muy estable. Tiene una distribución irregular de la densidad electrónica, pues el oxígeno, uno de los elementos más electronegativos

La atracción electrostática entre la carga parcial positiva cercana a los átomos de hidrógeno de una molécula de agua y la carga parcial negativa cercana al oxígeno de otra, permite la unión de moléculas de agua vecinas mediante un enlace químico muy especial y de importancia para la vida y que explica el amplio abanico de sus propiedades físicas y químicas: el puente de hidrógeno como se muestra en la figura 1. (Department of Biochemistry and Molecular Biophysics University of Arizona, 1996)

Figura 2 Puente de hidrógeno entre moléculas de agua



Fuente: (Department of Biochemistry and Molecular Biophysics University of Arizona, 1996)

El agua es uno de los principales constituyentes del medio en que vivimos y de la materia viva. Aproximadamente un 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua en estado líquido, que se distribuye por cuencas saladas y dulces, formando los océanos, lagos, lagunas y ríos. El 97% de esta agua está en los océanos unos 1400 km³, de los cuales un 3% del total corresponde a agua dulce. (Surribas & Banus, 2010)

2.3.2. Características del agua

A continuación, detallaremos algunas de las características físicas y químicas del agua, existen ciertas características del agua, se consideran físicas porque son perceptibles por los sentidos (vista, olfato o gusto), y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración como podemos apreciar en la tabla 4.

Tabla 4 *Características del agua.*

Propiedades Físicas	Propiedades Químicas
Estado físico: solida, liquida y gaseosa	Reacciona con los óxidos ácidos.
Color	Reacciona con los óxidos básicos
Sabor	Reacciona con los metales
Olor	Reacciona con los no metales
Punto de ebullición	Se une en las sales formando hidratos
Punto de congelación	
Densidad	
Presión critica	
Temperatura critica	

Fuente: (Pradillo, 2016)

2.3.2.1. Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbidez o presentarse independiente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color, se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etc. Se considera que el color natural del agua puede originarse por las siguientes causas:

- la descomposición de la materia;
- la materia orgánica del suelo;
- la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados. (Pradillo, 2016).

2.3.2.2. Turbiedad.

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua, mientras más sucia más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua. (Toro, 2011)

No es más que la capacidad que tiene la materia finamente dividida o en estado coloidal de dispersar la luz, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, a algas o a crecimientos bacterianos. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (NTU). (Rocha, 2010, pág. 3)

Hay varios parámetros que influyen en la turbidez del agua, como la minería aurífera que utiliza agua en abundancia produciendo una alta turbidez del agua y sólidos en suspensión y generan las siguientes consecuencias.

- Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, y así reduciendo la concentración de oxígeno en el agua (el oxígeno se disuelve mejor en el agua más fría). Además, algunos organismos no pueden sobrevivir en agua más caliente.
- Las partículas en suspensión dispersan la luz, disminuyen la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar más la concentración de oxígeno. (Toro, 2011)

Como consecuencia de la sedimentación las partículas se depositan en el fondo de los cuerpos de agua y disminuye la capacidad de retención de agua de éstos.

Las aguas turbias con alto contenido de sólidos suspendidos sedimentan más rápido, afectan al desarrollo de la vida acuática. Este impacto producido por la alta turbidez del agua es de carácter estético a nadie le gusta el aspecto turbio, las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas además es esencial eliminar la turbidez para desinfectar efectivamente y el agua puede ser reutilizada. Esto añade costos extra para el tratamiento de las aguas superficiales. (Toro, 2011).

2.3.2.3.pH

El potencial hidrogeno o pH, es un parámetro de suma importancia tanto para aguas naturales como aguas residuales.

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 6 a 9.

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar el proceso de coagulación. En el tratamiento del agua de consumo, se requerirá volver a ajustar el pH del agua hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes. (Pradillo, 2016)

Un pH menor de 7.0 indica acidez en el agua, cuanto menor sea el valor del pH mayor es la concentración de iones hidrogeno y mayor es la acidez.

Por encima de un pH de 7.0 se tienen condiciones básicas en el agua. La concentración de iones hidrogeno es baja y se dice que el agua es alcalina. Y cuando el pH es de 7.0 se dice que el pH es neutro y el agua no tiene características ácidas ni alcalinas. (Rocha, 2010, pág. 7).

Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados. (Arboleda, 2000)

2.3.3. Naturaleza Química de la Turbiedad.

La turbiedad esta principalmente formada por arcillas en dispersión. El termino arcilla comprende una gran variedad de compuestos, pero en general se refiere a la tierra fina (2 micrones de diámetro de grano o menos), a veces coloreada, que adquiere plasticidad al mezclarse con limitadas cantidades de agua. Químicamente son silicatos de aluminio con fórmulas bastante complejas. (Arboleda, 2000, pág. 21)

- Caolinita: $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ y $Al_4(Si_4O_6)(OH)_{16}$
- Montmorillonita: (bentonita) $Al(Mg)(Si_8O_{20})(OH)_4 \times H_2O$
- Illita: $K_yAl_4(Fe_4Mg_4Mg_{16})(Si_8O_{20})(OH)_{16}(Si_8YAl_yO_{20})$
- Muscovita (Mica): $K_2Al_4(Al_2Si_6O_{20})(OH)_4$
- Clorita: $(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2(Mg,Fe)_3(OH)_6$

Físicamente están constituidas por cristales con una estructura atómica reticular definida.

2.3.4. Comparación entre las características del color y la turbiedad.

Como se puede ver, por la información incluida anteriormente, el color y la turbiedad tienen características bastante diferentes que deben tenerse muy en cuenta cuando se quieren remover del agua por medio del proceso de coagulación. (Arboleda, 2000)

No solo el fenómeno óptico se percibe en forma distinta, sino que sus características físicas y químicas difieren grandemente como se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5 Diferencias entre color y turbiedad.

Item	Color	Turbiedad
Composición física	Sustancias disueltas parcialmente coloidales	Arcillas coloidales
Composición química	Ácidos orgánicos con pesos moleculares entre 200 y 50.000 o más	Cristales de silicatos
Origen	Orgánico	Mineral
Tamaño de la dispersión	87% < 0.01 μ	Entre 0.1 y 10 μ
Intensidad	Aumenta el pH	No varía con el pH
Comportamiento químico	Se comportan preferentemente como sustancias disueltas	Se comportan únicamente como suspensiones coloidales

Fuente: (Arboleda, 2000)

2.4. CONTAMINACIÓN DE EFLUENTES CON MATERIAS EN SUSPENSIÓN.

Cada actividad industrial aporta una contaminación determinada por lo que es conveniente conocer el origen del vertido industrial para valorar su carga contaminante e incidencia en el medio receptor, su clasificación según los vertidos industriales se muestra en la tabla 6. ((Editor), 2010).

Tabla 6 Clasificación de vertidos

TIPO DE EFLUENTE	INDUSTRIA
PRICIPALMENTE ORGANICOS	Papeleras Azucareras, Mataderos, Curtidos, Conservas, Lecherías, Fermentación, Bebidas, Lavanderías.
ORGANICOS E INORGANICOS	Refinerías y Petroquímicas, Coquerías, Textiles, Fabricación de productos químicos, varios.
PRINCIPALMENTE ORGANICOS	Limpieza y recubrimiento de metales Explotaciones mineras y salinas Fabricación de productos químicos, Inorgánicos.
CON MATERIAS EN SUSPENSIÓN	Lavaderos de mineral y carbón, Corte y pulido de mármol y otros minerales, Laminación en caliente y colada continua.
DE REFRIGERACIÓN	Centrales térmicas Centrales nucleares

Fuente: ((Editor), 2010)

2.4.1. Aguas Residuales.

Son las que proceden de cualquier taller o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración.

Aguas residuales de Proceso:

Se originan en la utilización del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración y que puede contaminarse con los productos de fabricación o incluso de los líquidos residuales.

Tipos de vertidos industriales:

i) Continuos: Proviene de procesos en los que existe una entrada y una salida continua de agua (Procesos de Transporte, lavado, refrigeración...)

ii) Discontinuos: Proceden de operaciones intermedias. Son los más contaminados (Baños de decapado, baños de curtidos, lejías negras, emulsiones...)

Al aumentar el tamaño de la industria, algunos vertidos discontinuos pueden convertirse en continuos. ((Editor), 2010)

2.4.1.1. Características de las aguas residuales.

Parece evidente que las características físicas y químicas de un determinado tipo de agua que va a ser utilizada para un uso concreto serán diferentes, o cuanto menos, no tienen por qué ser idénticas para el agua destinada a otro fin.

En cualquier caso, el control analítico exhaustivo, sistemático y periódico de un agua viene impuesto por dos condicionantes de tipo general:

- Contrastación y comprobación de sus características físicas.
- Complementando y apoyando lo anterior con fuerza para ser exigido legalmente, se encuadra el aspecto relativo a regulaciones, normativas y leyes de diferentes ámbitos territoriales de aplicación que han de ser inexcusablemente cumplidas en cuanto al control de la calidad del producto “agua”. ((Editor), 2010)

2.4.1.2. Calidad del agua.

La calidad del agua puede definirse en base a:

- Caracterización física: color, olor, temperatura, sólidos, turbidez, contenidos de aceites y algas.
- Parámetros químicos: como la DBO (que mide el contenido de materia orgánica del agua mediante la cantidad de oxígeno necesario para estabilizar la vida biológica), el pH, presencia de sustancias como nitrógeno en forma orgánica, amoniacal, nitritos y nitratos y fósforo.
- Parámetros biológicos: presencia de coliformes, coliformes fecales, patógenos específicos y virus

2.4.1.2.1. Límites Máximos Permisibles.

Los **LMP** aseguran que los efluentes líquidos que emitan las empresas no excedan ciertos niveles de concentración que se consideran dañinos al bienestar humano y al ambiente, su cumplimiento es exigible legalmente.

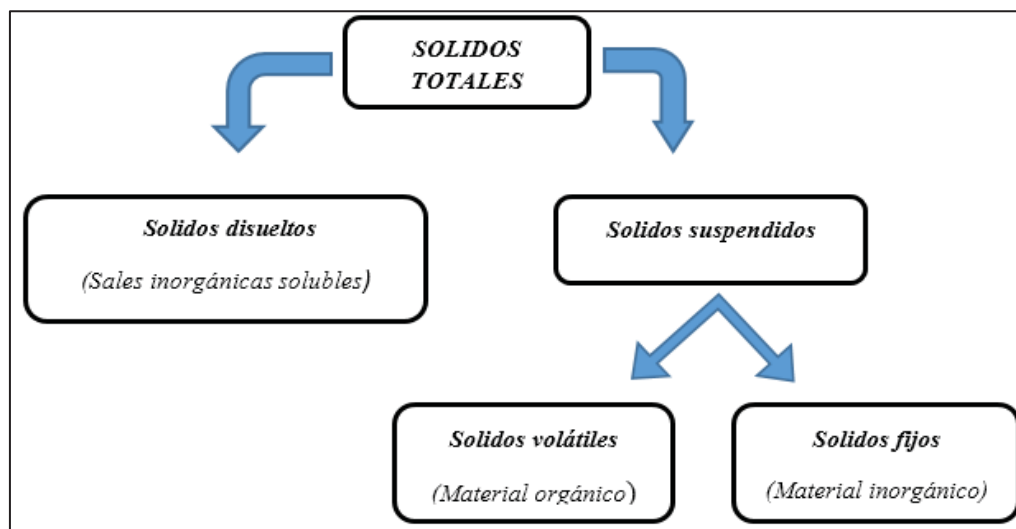
La legislación nacional impuso para la industria, en cada uso de agua, unos denominados límites máximos permisibles correspondientes a los efluentes (agua que ya ha sido utilizada por la industria y es retornada al ambiente) demarca los límites máximos para efluentes minero-metalúrgicos que, de manera incipiente, procuraban cautelar el ambiente natural y el impacto que la actividad humana ejerce sobre este al momento de realizar sus actividades productivas, que el titular minero debe respetar por su sola utilización, sin importar el estado del agua en el que la toma o sus características biológicas. (Mendiola Soberon, 2015)

2.5. CONTENIDO DE SÓLIDOS EN AGUAS NATURALES

El tamaño de las partículas presentes en el agua es muy variado y los sólidos totales es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión que están presente en el agua (ver figura 2). Se puede decir que las aguas naturales son un conjunto de agua con sólidos disueltos y suspendidos.

Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, la presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua completamente cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos mientras que los sólidos en suspensión es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez. Cuanto mayor es el contenido de sólidos en suspensión, mayor es el grado de turbidez. En los sólidos suspendidos se tiene material orgánico e inorgánico. (Rocha, 2010)

Figura 3 Sólidos disueltos y suspendidos en sus diferentes formas.



Fuente: (Rocha, 2010).

2.5.1. Relación entre turbidez y sólidos en suspensión.

La turbidez es una característica que se relacionan con el contenido de solidos finamente divididos que se presentan en el agua, los sólidos suspendidos totales (SST) afecta directamente a la turbidez, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 Comparación de mediciones entre turbidez y SST.

Ítem	SST	TURBIDEZ
Resolución	Método gravimétrico	Método indirecto
Mide	La cantidad de solidos suspendidos por unidad de volumen	La concentración de sedimentos suspendidos
Unidad	mg/l	NTU
Tiempo	Al menos dos horas	Instantáneo
Valor de medida	Estable	Inestable

Fuente: (OZ PERU GROUP S.A.C., 2016)

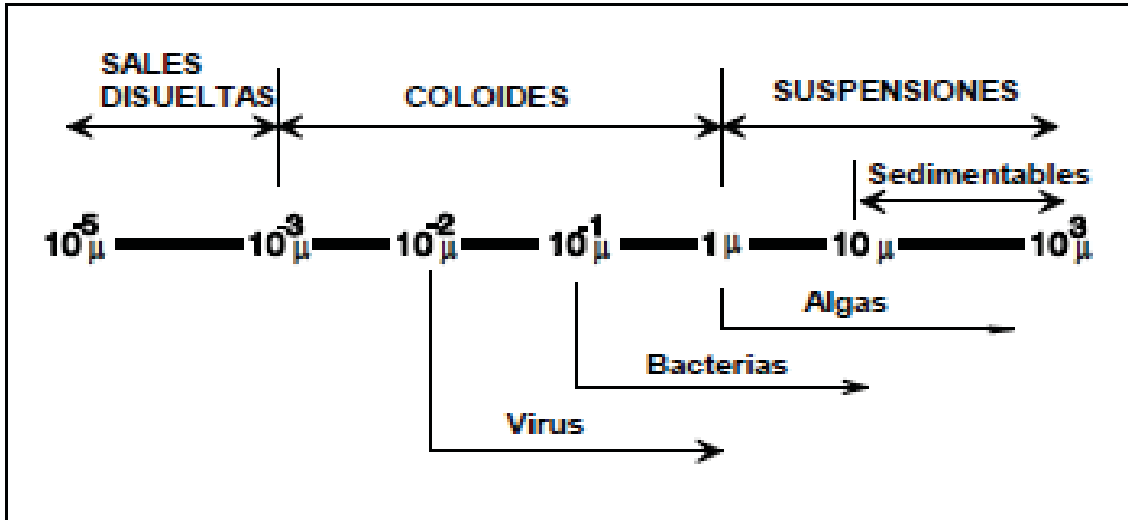
Para la conversión de unidades de turbidez nefelométrica (NTU) en mg / l requiere especificación de turbidez ya que NTU se utiliza como sustituto para (SST) porque se puede medir inmediatamente en el campo. Las NTU pueden ser entonces convertidas en SST una vez que se forma la relación NTU / SST se interpreta mediante análisis de regresión lineal.

La relación entre los sólidos en suspensión y la turbidez es exclusiva de cada instrumento por lo que los instrumentos deben ser calibrados antes de la implementación en campo

2.5.2. Tamaño de las partículas en suspensión.

La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro que oscila de 10^{-3} a $1 \mu\text{m}$ (figura 3). Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, inorgánicas e iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. (Molina & Jácome, 2008)

Figura 4 Clasificación e intervalos de tamaños de partículas presentes en el agua.



Fuente: (Molina & Jácome, 2008)

2.5.3. Coloides.

Son, en general, sólidos finamente divididos que no se sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica. Con base en su tamaño, los coloides han sido definidos como partículas cuyo diámetro varía entre 1 y 100 nm. (Romero Rojas, Calidad del Agua, 2005)

En el tratamiento del agua, es común referirse a los sistemas coloidales como hidrófobos o suspensores cuando repelen el agua, e hidrófilos o emulsores cuando presentan afinidad con ella.

Obviamente, los coloides hidrófobos no repelen completamente al agua, pues una película de ella es absorbida por los mismos. Las arcillas y algunos óxidos metálicos son coloides hidrófobos muy importantes en el tratamiento del agua.

Los coloides hidrofílicos comprenden soluciones verdaderas, ya sea de moléculas grandes o de agregados de moléculas pequeñas (llamados micelas), cuyas dimensiones están dentro de los límites coloidales. (Vargas, 2004)

2.5.3.1. Sistemas coloidales.

Existe varios términos para distinguir los tipos de sistemas coloidales. Para el tratamiento de agua, los más importantes son hidrófilos e hidrófobos.

Las sustancias hidrófobas presentan una atracción por el agua considerablemente menor que las hidrófilas.

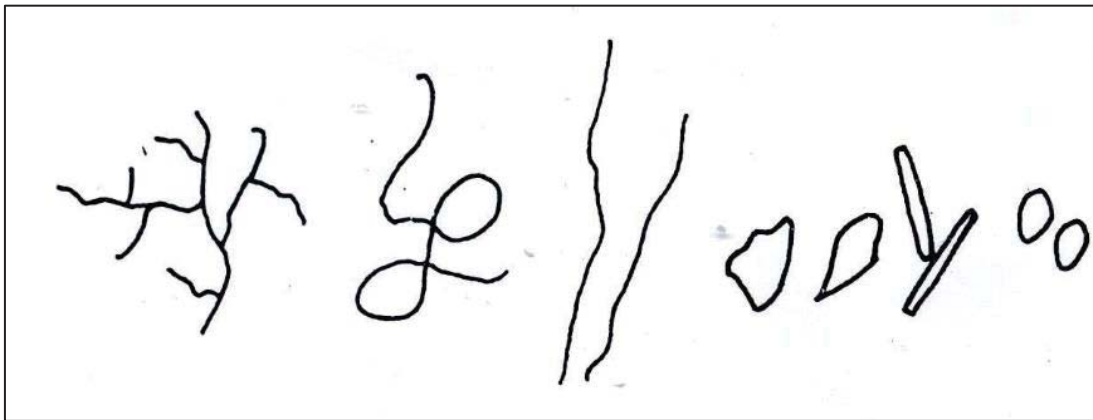
Los coloides hidrófobos son importantes en el tratamiento del agua e incluyen sustancias como arcillas y óxidos metálicos. Asimismo, son termodinámicamente inestables con respecto a la formación de grandes cristales no coloidales.

Los coloides hidrófilos comprenden soluciones verdaderas ya sea de moléculas grandes o de agregados de moléculas pequeñas (llamados micelas), cuyas dimensiones están dentro de los límites coloidales. Incluyen varios polímeros sintéticos y naturales y numerosas sustancias de importancia biológica como proteínas, ácidos nucleicos, almidones y otras macromoléculas. El color se forma por coloides hidrófilos, mientras que la turbiedad por coloides hidrófobos. (Molina & Jácome, 2008)

2.5.3.2. Forma de los coloides.

La forma de los coloides tiene relación con sus propiedades. No se ha hecho, sin embargo, una clasificación adecuada de las formas coloidales. Algunos los clasifican en isométricas y anisométricas. Las primeras son las que tienen una dimensión igual en todas direcciones (esferas, poliedros); las segundas son las que se extienden preferentemente en una o dos dimensiones tales como cilindros, láminas, cintas, etc. La figura 4 incluye las formas más comunes de coloides, según Jirgensons y Straumans. (Arboleda, 2000)

Figura 5 La forma más común de partículas coloidales



Fuente: Arboleda valencia. J, “Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua”, ACODAL III

Ed. McGraw Hill 2000

2.5.3.3. Propiedades de los coloides.

Dos propiedades importantes asociadas a los coloides son: movimiento browniano y área superficial extremadamente grandes. Estas dos propiedades les permiten desafiar la ley de la gravedad, y, por tanto, impiden su remoción por sedimentación simple. Debido a su inmensa área superficial, los coloides adsorben iones en cantidades desiguales, originando a la formación de una

carga eléctrica que contribuye a su estabilidad. El resultado de la formación de esa carga eléctrica y del movimiento browniano es una colisión constante entre partículas. La tasa de coagulación puede tomarse entonces como una medida de la cantidad de partículas que se adhieren durante la colisión en un periodo determinado.

Como se puede comprobar en la tabla 8, las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, definida como la relación entre el área superficial y la masa.

Nótese el efecto de la disminución del tamaño de las esferas sobre el área total superficial y el tiempo de sedimentación requerido. La gran superficie específica da a los coloides una gran capacidad de adsorción y, por tanto, no resulta práctico sedimentar las partículas coloidales sin tratamiento químico previo. (Vargas, 2004).

Tabla 8 Efecto al disminuir el tamaño de las esferas.

Diámetro de la partícula en mm	Escala de tamaños	Área total superficial	Tiempo requerido para sedimentar
10	Grava	3,15cm ²	0,3 s
1	Arena gruesa	31,5cm ²	3 s
0,1	Arena Fina	315cm ²	38 s
0,01	Sedimento	3150cm ²	33 min
0,001	Bacteria	3,15m ²	55 horas
0,0001	Partícula coloidal	31,5m ²	230 días
0,00001	Partícula coloidal	0,283ha	6,3 años
0,000001	Partícula coloidal	2,83ha	63 años

Fuente: (Vargas, 2004)

2.5.4. Suspensiones Coloidales.

Se denominan suspensiones coloidales a los sistemas físico-químicos estables formados por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa (en menor proporción) en forma de partículas, por lo general sólidas.

La teoría de estabilidad de los coloides se conoce como la teoría de doble capa eléctrica (double electrical layer), como se aprecia en la figura 5 debido a como se modela la superficie intermedia entre la partícula coloidal y el seno del líquido.

La primera teoría sobre la doble capa eléctrica la propuso Hemholtz en 1879, y fue modificada posteriormente por varios investigadores como Couy, Chapman y Stern.

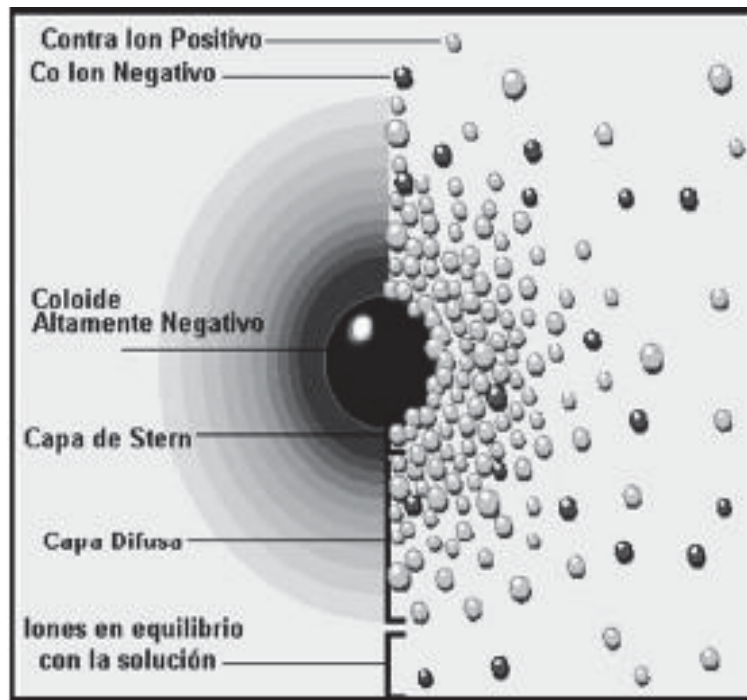
Parte de la base de que las cargas superficiales de la partícula coloidal atraen iones de carga opuesta, estableciéndose un estado de carga neutra entre la partícula y su alrededor inmediato

En esta zona de *carga neutra*, el continuo movimiento de las moléculas de agua impone la existencia de una capa difusa de cargas eléctricas que se extienden hacia el seno del agua.

Aparecen así varias zonas que denominaremos:

- a) *Capa superficial del coloide* (carga negativa), donde existe un potencial eléctrico denominado Potencial de Nernst
- b) *Capa de Stern*, constituida por cargas de signo positivo, atraídas fuertemente por la superficie coloidal, donde el potencial eléctrico se denomina potencial de Stern.
- c) *Capa difusa de Gouy-Chapman*, constituida por el resto de iones móviles, hasta la superficie neutra del líquido.

Figura 6 Modelo de doble capa.



Fuente: (Perez de la Cruz & Urrea Mellabrera, 2011)

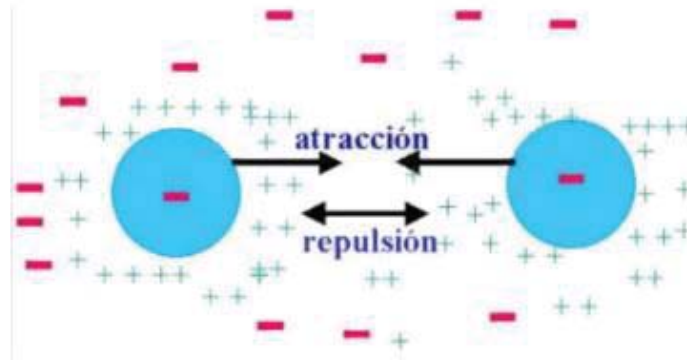
2.5.5. Estabilidad de las suspensiones coloidales.

La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y, por lo tanto, no precipitan (Acosta Yaniris, 2006)

Entre las fuerzas de estabilización o repulsión podemos mencionar las siguientes:

- a) La carga de las partículas.
- b) La hidratación, que generalmente es importante para los coloides hidrofílicos, aunque tienen menor importancia en este caso en la figura 6 se puede apreciar.

Figura 7 Estabilidad de los colides



Estabilidad de los coloides

Fuente: (Acosta Yaniris, 2006)

El grado de estabilidad de una partícula es determinado por un valor llamado **potencial zeta**, en la cual está relacionado con la carga de la partícula y la distancia a través de la cual la carga es efectiva. Las partículas coloidales se caracterizan por poseer dos capas eléctricas alrededor de ellas, de las cuales derivan su estabilidad. La capa interna consiste tanto en cationes como en aniones, pero en general tiene una carga neta negativa. La capa externa comprende cationes intercambiables tales como Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , H^+ , etc.

- Los factores de atracción o desestabilización son los siguientes:

a) La gravedad. Es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales.

b) El movimiento browniano. Permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización.

c) La fuerza de Van der Waals. Una fuerza débil de origen eléctrico, postulada por primera vez por el químico holandés Johannes Diderick van der Waals. Es un factor muy importante, pues constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas fuerzas siempre

atractivas, que decrecen rápidamente con la distancia, se deben a la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas. (Vargas, 2004)

2.5.6. Potencial Zeta

Evidentemente, la partícula coloidal cargada tiene un cierto potencial eléctrico con respecto a la solución neutra en la que se halla, potencial que decrece hasta una distancia suficiente para que los efectos de la carga sean inapreciables. El valor de la diferencia de potencial entre el límite de solución rígidamente unida a la partícula y la masa del líquido se denomina *potencial Zeta*

En otras palabras, el potencial zeta es la medida, en mili voltios, del potencial eléctrico entre la capa fina exterior de iones de carga contraria que rodean al coloide.

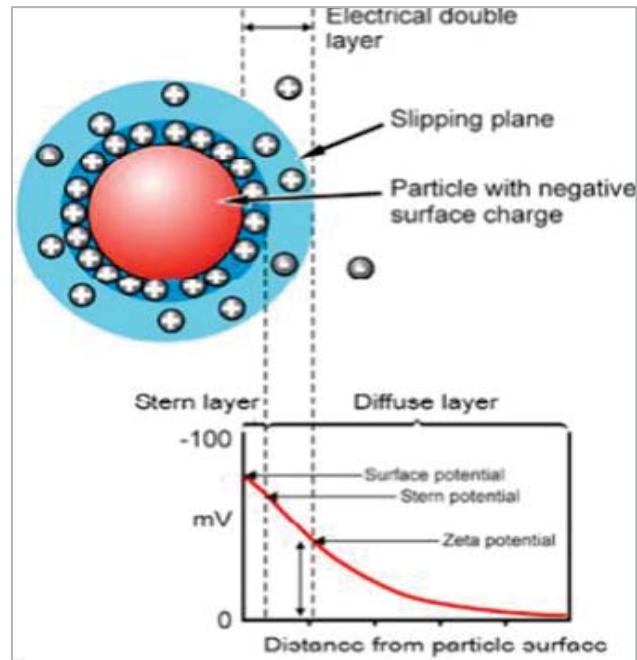
La existencia del potencial Zeta y esta doble capa es lo que impide la aproximación de las partículas a una distancia suficiente como para que las fuerzas atractivas de Van der Waals entren en acción y agrupen los coloides.

Unido a ello aparece el fenómeno de la repulsión electrostática entre cargas de igual signo, de modo que todo ello fortalece la estabilidad del sistema coloidal.

El conseguir la formación de agregados de partículas o flóculos dependerá de la capacidad de ruptura de la estabilidad de los coloides, o dicho de otro modo, será función de la posibilidad de reducir el potencial Zeta existente entre partícula y la capa límite que define la zona de movilidad iónica. (Perez de la Cruz & Urrea Mellabrera, 2011)

En el tratamiento de agua, el proceso de coagulación se utiliza para aumentar la cinética de agregación de partículas y formación de flocúlos. El objetivo es transformar una suspensión estable en otra inestable. (Association A. W., 2002). Ver figura 7

Figura 8 *Potencial Zeta*



Fuente: (Perez de la Cruz & Urrea Mellabrera, 2011)

Las partículas coloidales están en constante movimiento y se producen colisiones de las que se desprende energía. Cuantas más colisiones se produzcan, mayor será la posibilidad de agregación; a pesar de ello, no se generará un número suficiente de uniones fruto de la colisión, si no existe una previa desestabilización del equilibrio coloidal

Pueden aumentarse las colisiones entre partículas, estableciendo flujos hidráulicos, recurriendo a la creación de zonas de mezcla rápida o zonas de gran turbulencia, variando las condiciones de agitación

Entre las distintas moléculas, existe una fuerza cohesiva atómica, resultante de la atracción entre todos los átomos, pues en un conjunto cada uno atrae al resto. Esta es la fuerza de Van der Waals, y el efecto agregador sólo tiene lugar cuando las fuerzas atractivas superen a las electrostáticas de repulsión, facilitando la aproximación y adherencia de unas partículas con otras progresivamente.

Por último, y en menor escala, existe la fuerza gravitacional, la cual decantará las partículas presentes en el agua, aunque algunas, por tamaño, superficie específica y peso, necesitarían para ello un tiempo casi infinito. (Perez de la Cruz & Urrea Mellabrera, 2011)

2.6. PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Las aguas residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser suspensiones coloidales. Los procesos de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos considerando los factores que influyen en la eficiencia de este proceso. (Monteagudo Martínez & Duran Segovia, 2006)

Los términos **coagulación y floculación** se utilizan ambos indistintamente, sin embargo, se llama Coagulación-Floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos. Dicho proceso se usa para lograr la: (Acosta Yaniris, 2006)

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos, entre otros.
- Eliminación de bacterias virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados.
- Destrucción de algas y plancton en general.

Por tanto:

Se denomina **coagulación** a la desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos. (Monteagudo Martinez & Duran Segovia, 2006)

Se denomina **coagulación** al proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, para potenciar la etapa de decantación o espesado en la que esas partículas deben separarse del agua. (Perez de la Cruz & Urrea Mellabrera, 2011)

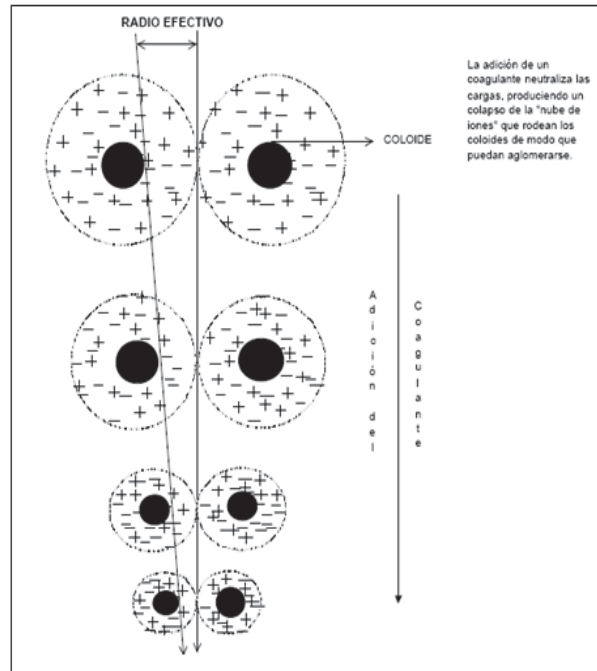
2.6.1. Mecanismo de la coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

En la Figura 8 se muestra como los coagulantes cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide permitiendo la aglomeración y la formación de flóculos. Estos flóculos inicialmente son pequeños, pero se juntan y forman aglomerados mayores capaces de sedimentar. Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas. Esto se consigue sólo con los iones del coagulante. (Monteagudo Martinez & Duran Segovia, 2006)

Figura 9 *Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa*



Fuente: (Monteagudo Martinez & Duran Segovia, 2006)

La desestabilización se consigue neutralizando sus cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, su potencial Zeta se anula y los coloides tienden a agregarse por acción

de masas, el potencial Zeta de los coloides depende también de un factor muy importante, como es el pH del agua. (Perez de la Cruz & Urrea Mellabrera, 2011).

2.6.2. Etapas del proceso de coagulación.

Etapas de la coagulación, ver figura 9

1ra Fase: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.

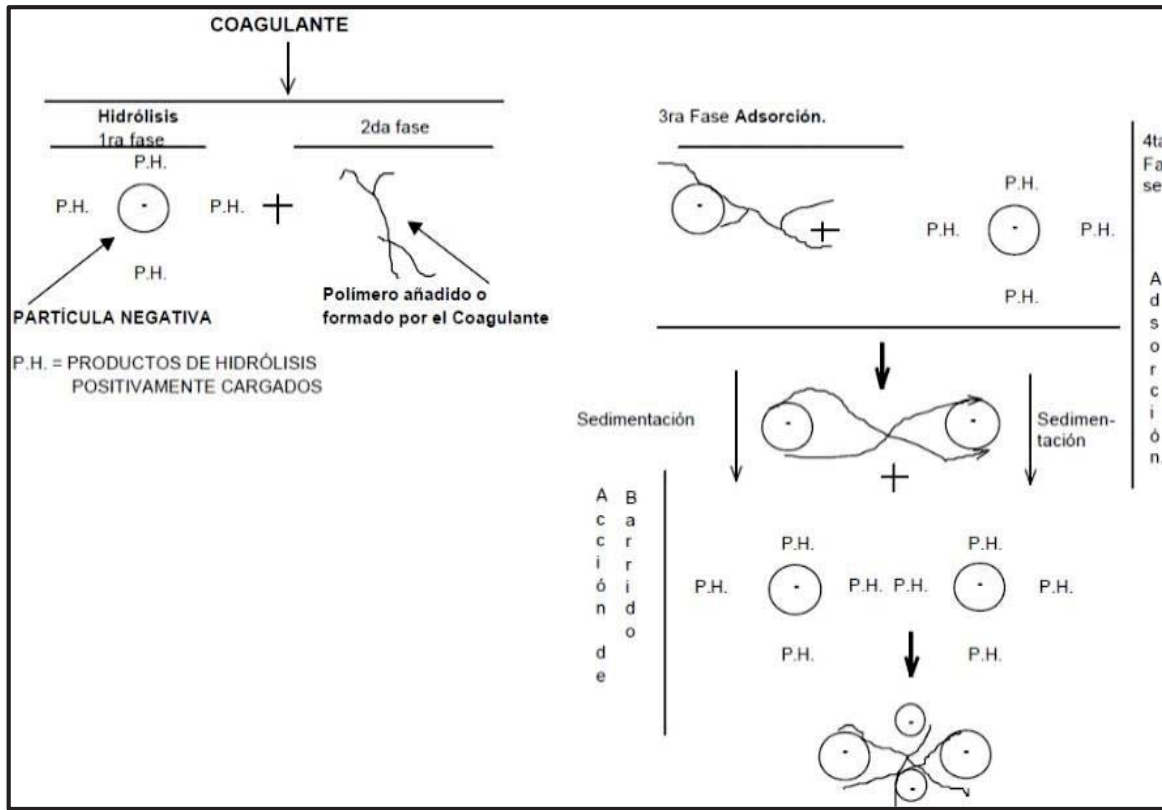
2da Fase: Precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan.

3ra Fase: Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.

4ta Fase: Adsorción mutua entre los coloides.

5ta Fase: Acción de barrido.

Figura 10 etapas de la coagulación



Fuente: (Andia, 2002)

2.6.3. Factores que influyen en la coagulación

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación: (Perez de la Cruz & Urrea Mellabrera, 2011)

2.6.3.1. Influencia del pH.

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada coagulante, existe una zona de pH donde se produce una buena floculación en plazo corto y con una dosis dada de coagulante, debiéndose efectuar, siempre que sea posible, en esa zona para optimizar productos y rendimientos.

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, y es igual a:

$$\text{pH} = - \log \{H^+\}$$

Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades.

2.6.3.2. Temperatura del agua

La temperatura influye en el tiempo requerido para una buena formación de coágulos, (más fría, más tiempo)

2.6.3.3. Influencia del Tipo y cantidad de coagulante.

La cantidad exacta se debe determinar mediante ensayos (Jar-Test) para evitar sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial.

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos en el equipo test de jarra.

- La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:
 - La buena o mala calidad del agua clarificada.

2.6.3.4. Tiempo de mezcla y floculación (periodo de coagulación)

Es el tiempo transcurrido entre la adición de coagulante y el final de la agitación a una velocidad que impida la decantación de las materias floculadas.

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg, máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos.

2.6.4. Tipos de coagulación

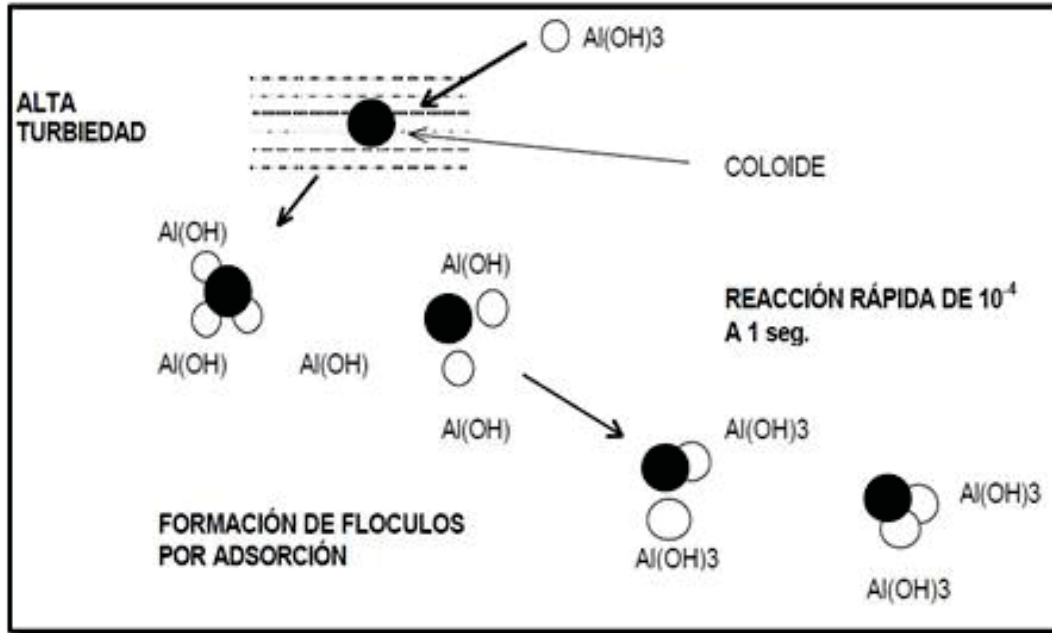
Se presentan dos tipos básicos de coagulación: Por Adsorción y Por Barrido.

2.6.4.1. Coagulación por adsorción.

Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son

absorbidas por los coloides y forman los floculos en forma casi instantánea. Ver figura 10 (Andia, 2002)

Figura 11 *Coagulación sobre Adsorción.*

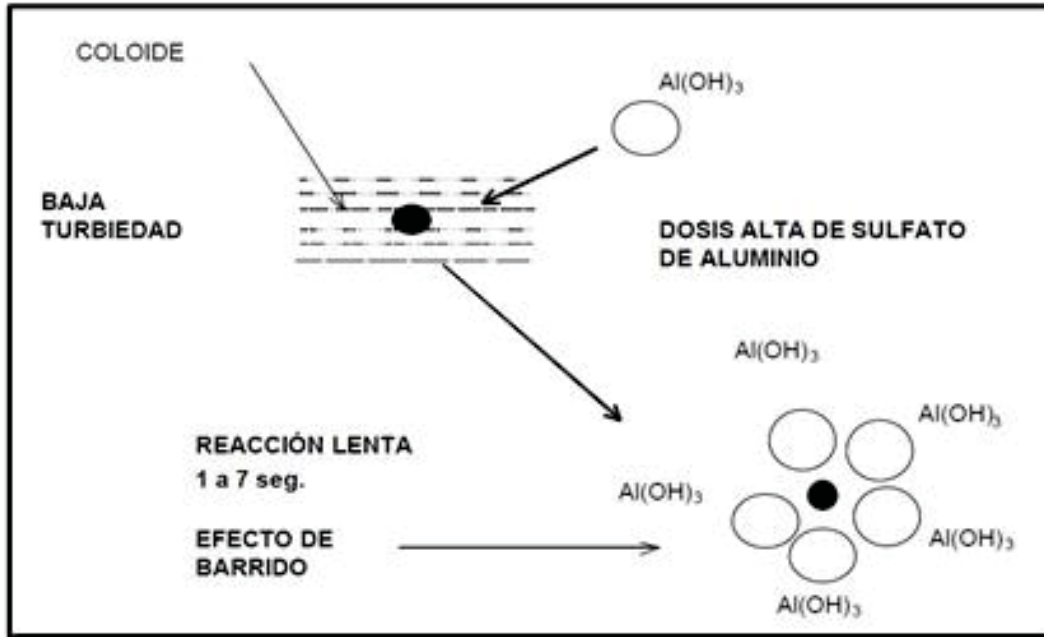


Fuente: (Andia, 2002)

2.6.4.2. Coagulación por Barrido.

Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico. Ver figura 11 (Andia, 2002)

Figura 12 *Coagulación por Barrido.*



Fuente: (Andia, 2002)

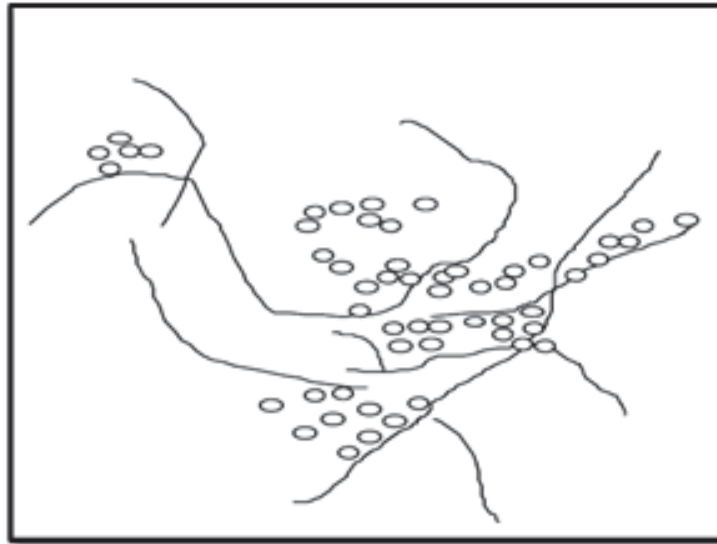
2.6.5. Floculación

La floculación es un fenómeno de carácter físico y químico, que provoca la formación de conglomerados de flóculos o partículas a partir de los coágulos formados en el proceso de coagulación. Los floculantes consisten de polímeros sintéticos de muy alto peso molecular, que tienen una estructura morfológica muy especial, que causa que los coágulos formados se adhieran a los ramales de estas moléculas gigantes, por mecanismos de fuerzas de adhesión físicas, así como por fuerzas de atracción electrostática y de otro tipo (fuerzas de London, de Van Der Waals, etc.). (Rocha, 2010)

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza

óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso. La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación. Ver figura 12 (Andia, 2002)

Figura 13 *El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes y fácilmente sedimentables.*



Fuente: (Andia, 2002)

2.6.5.1. Tipos de floculación

Se tiene dos tipos de floculación: (Andia, 2002)

2.6.5.1.1. Floculación Pericinética

Está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

2.6.5.1.2. Floculación Ortocinética

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microfloculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinetica luego se produce la floculación ortocinética.

2.6.6. Reactivos más utilizados y reacciones químicas de la coagulación y floculación.

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son

más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

Algunas de las reacciones que ocurren con el coagulante son las siguientes:

a. Sulfato de Aluminio: $Al_2(SO_4)_3$

Da las siguientes reacciones en función de la alcalinidad del agua:

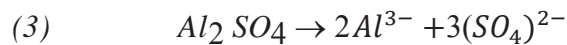
- Con alcalinidad natural



- Con cal: CaO



En solución concentrada, el sulfato de aluminio tiene pH bajo y se presenta de forma iónica

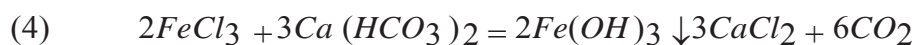


Ya en agua, el ion Al^{3+} se hidroliza dando lugar a complejos (iones bi- trivalentes) y formándose el óxido aluminico hidratado que es un precipitado (coagulante hidrolizante). La alcalinidad regula la intensidad de reacción.

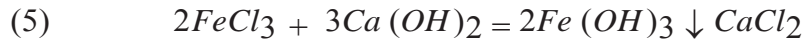
b. Cloruro de hierro: $FeCl_3$

El rendimiento del cloruro férrico también depende del pH

- Con alcalinidad natural



- Con cal: CaO



Un inconveniente que tiene el cloruro férrico es su poder corrosivo, con las consecuentes actividades de mantenimiento adicionales si se usa este coagulante. (Martinez S. L., 2010)

El hidróxido de aluminio y el hidróxido de hierro formados en las reacciones 1 y 5 anteriores, forman precipitados gelatinosos a los que se adhieren un gran número de partículas coloidales suspendidas que quedan atrapados en su red de polimerización.

En estas reacciones se hace evidente que la alcalinidad del agua en forma de carbonatos y bicarbonatos, así como el pH, son decisivos para que se favorezcan las reacciones de hidrólisis del hierro y el aluminio. Las condiciones más adecuadas para que ocurran las reacciones de polimerización no son predecibles ya que la composición de las aguas que se mide con parámetros tales como; alcalinidad, pH, etc. es muy variable para diferentes tipos de agua, por lo que la mejor condición para una muestra de agua específica pueden ser muy diferentes para otra muestra de agua de diferente composición. (Martinez, 2010)

Los resultados de los experimentos se extrapolan a la planta operativa y con ellos se establecen las condiciones de operación de la planta de tratamiento. (Rocha, 2010)

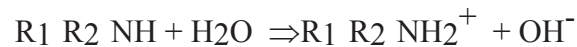
2.6.6.1. Polielectrolitos

Son polímeros orgánicos con carga eléctrica. Inicialmente se utilizaron los de origen natural, como almidón, celulosa, gomas de polisacáridos, etc. Hoy se usan una gran variedad de polielectrolitos sintéticos. Pueden actuar solos o como coadyuvantes para floculación.

Los polielectrolitos pueden clasificarse en:

- Catiónicos: Cargados positivamente.
- Aniónicos: Cargados negativamente.
- No iónicos: No son polielectrolitos en sentido estricto, aunque exhiben en disolución muchas de las propiedades floculantes de los anteriores.

Los polielectrolitos catiónicos son poliaminas que se hidrolizan en agua como sigue:



Puesto que la hidrólisis da OH⁻, a pH alto se fuerza la reacción a la izquierda y el polímero se vuelve no iónico.

De forma semejante, los polímeros aniónicos incorporan a su estructura un grupo carboxilo que en agua se ioniza del siguiente modo:



Un pH bajo fuerza la reacción a la izquierda y transforma el polímero aniónico en no iónico. Según esto, generalmente se usan los polímeros catiónicos a bajo pH y los aniónicos a alto pH. Esto no significa que en caso contrario dejen de funcionar, lo que ocurre es que se transforman en no iónicos, lo que hará variar en cierto modo su efectividad en el tratamiento concreto a que se aplican. (Monteagudo Martínez & Duran Segovia, 2006)

2.6.7. La coagulación y la floculación en la práctica:

Coagulación:

Al proceso por el cual las partículas se aglutinan formando pequeñas masas, de mayor tamaño con peso específico superior al agua a partir de suspensiones coloidales.

Floculación:

Es la formación de partículas de mayor tamaño y densidad, a partir de los coágulos formados anteriormente que floculan por la acción de un agente químico

En la práctica, la coagulación se efectúa agregando los reactivos necesarios en un recipiente provisto de una turbina de agitación, que gira a alta velocidad, y que mezcla vigorosamente el o los reactivos y el agua a tratar. A continuación, y después de la coagulación, la floculación se lleva a cabo en un tanque provisto de paletas que giran a baja velocidad, y promueven la interacción y choques entre partículas para que se forme un flóculo de mayor tamaño y densidad, que sea capaz de vencer la resistencia del fluido y provoque la separación del sólido del fluido. (Rocha, 2010)

Otros agentes que también se emplean para coagular y que se les llama **auxiliares de la coagulación** son: la cal o hidróxido de calcio y el carbonato de sodio. Estos compuestos favorecen la coagulación al ajustar el valor del pH a un valor óptimo para la formación del polímero que atrapa las partículas o para incrementar la alcalinidad del agua y favorecer la aparición del coágulo. (Rocha, 2010)

floculación es de 20 a 40 minutos. Después del proceso coagulación/floculación el agua pasa al tanque sedimentador. (Rocha, 2010)

2.6.8. Test de jarras.

El equipo test de jarras en el laboratorio permite explicar el funcionamiento de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Igualmente permite explicar cómo se determina la dosificación óptima de coagulante y la mejor combinación de estos reactivos, con este aparato se simula los procesos de la planta dentro de una jarra.

De acuerdo a lo afirmado por Rocha (2010) “La determinación de la cantidad y tipo de coagulante y floculante que se requiere para tener los mejores resultados en la operación unitaria de sedimentación, se realizaran por medio de las pruebas de jarras”.

Existe en el mercado una gran variedad de equipos para pruebas de jarras, pero su versatilidad radica en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo como en la figura 13 y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (rpm) En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos. Entre éstos tenemos: (Acosta Yaniris, 2006)

- a) pH
- b) Temperatura
- c) Concentración de reactivos
- d) Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
- e) Grado de agitación
- f) Velocidad de sedimentación.

Figura 14 *Equipo test de jarras*



Fuente: (Molina & Jácome, 2008)

El ensayo de jarras ha sido ampliamente usado; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda. (SENA, 2015)

2.6.8.1. Condiciones operativas del test de jarras

El **pH** desempeña un papel muy importante en el estudio de los fenómenos de coagulación-floculación, es así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones OH^- , queda destruida por un aumento de la concentración de iones H_3O^+ que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal. Preferiblemente el pH debe quedar dentro de la zona correspondiente al mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante usado. (Narkis & Rebhun, 1983.)

Para sales de hierro la zona de pH es mucho más amplia, alcanzándose el mínimo de solubilidad a $\text{pH} > 5$

La **temperatura** del agua también influye grandemente en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del flóculo. Según disminuye la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular, con el objetivo de lograr o asegurar la formación de flóculos adecuados. (CEPÍS, 1992)

El **tiempo de agitación** del coagulante en el agua a tratar será el necesario para que el producto utilizado se difunda con la mayor rapidez posible. El tiempo de coagulación es extraordinariamente breve, menos de un segundo y la utilización óptima del coagulante exige que la neutralización sea total antes de que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar (Acosta Yaniris, 2006)

La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, generalmente entre 10 a 300 rpm. Como jarras de coagulación se recomienda, jarras de 1 a 2 litros en acrílico transparente. (SENA, 2015)

Debido a que el test de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de los mismos.

Agitación rápida.

El objetivo de la agitación rápida es crear la turbulencia o movimiento necesario en el líquido contenido en la jarra para poner en contacto los reactivos químicos con las partículas coloidales del agua, modo de neutralizar sus cargas, desestabilizarlas y hacer que se aglomeren en un corto período de tiempo. El tiempo de aplicación de la mezcla rápida depende de la clase del coagulante.

Por ejemplo, los polímeros se distribuyen más lentamente que los iones metálicos debido a su mayor molécula, por lo tanto, requerirán mayor tiempo o mayor gradiente de velocidad que los coagulantes metálicos hidrolizantes.

Agitación lenta

Generalmente, el tiempo de agitación no excede de 15 min. Un tiempo excesivo puede crear calentamiento de la muestra originando una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación, ya que ocurre la liberación de los gases disueltos en el agua, formando burbujas que se adhieren a los floculos y los hacen flotar. (CEPIS, 1992)

Reposo (Sedimentación).

Durante este tiempo los coloides sedimentan por gravedad y se obtiene el agua clarificada.

Molina & Jácome, (2008) también menciona que el tiempo de agitación rápida para producir la coagulación puede llevar de 30 segundos a 3 minutos para alcanzar altos rendimientos y para el proceso de formación de floculos es lento adopta tiempos que van desde 10 a 30 minutos y realizó sus experiencias con estas condiciones operativas para la coagulación y floculación utilizando el equipo de test de jarras, con estos parámetros realizó la evaluación del agua mediante tratamientos fisicoquímicos.

Las evaluaciones de la eficiencia de los reactivos se lograron mediante las pruebas de coagulación-floculación en cuales se analizó la eficiencia de remoción de turbiedad que tiene cada reactivo en el tratamiento de agua turbia. La eficiencia está determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \frac{\text{Turbidez inicial(NTU)} - \text{Turbidez final(NTU)}}{\text{Turbidez inicial(NTU)}} \times 100 \quad \dots(\text{Ec. 2.1})$$

También se calculará la dosis de coagulante o concentración de la jarra en gramos por litro con la siguiente relación. (Daniela & Giraldo, 2012)

$$C_{\text{concentración deseada}} = C_{\text{solución}} * \frac{\text{Vol. de coagulante a dosificar en la jarra}}{\text{Vol. de agua en la jarra}} \quad \dots(\text{Ec. 2.2})$$

2.7. SEPARACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS POR SEDIMENTACIÓN

2.7.1. Sedimentación

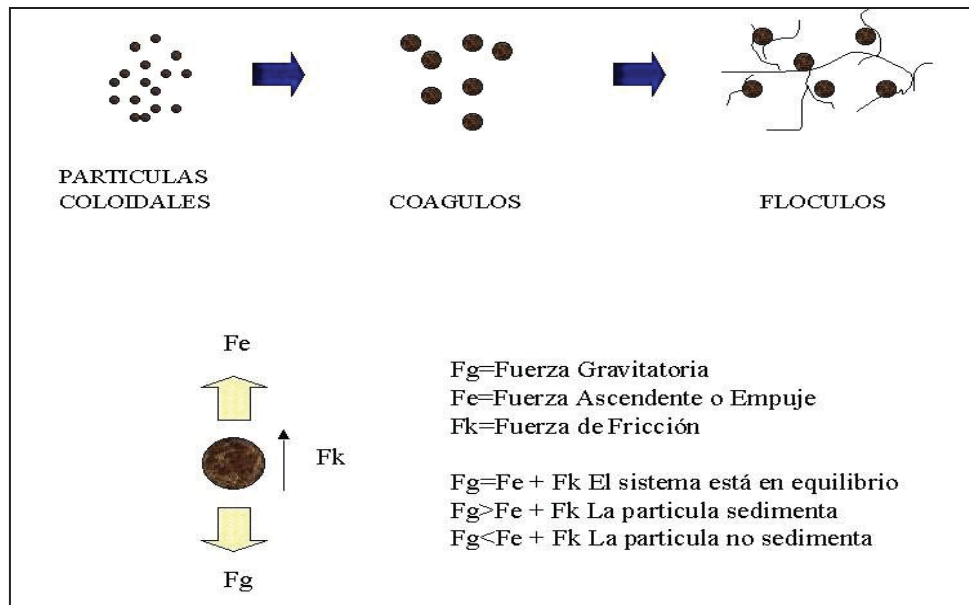
La sedimentación es una operación unitaria dentro de los procesos de tratamiento de aguas que tiene como finalidad el remover los sólidos suspendidos que el agua pueda contener.

Los sólidos en suspensión sedimentables son aquellos que por acción de la gravedad se separan del seno del líquido y son arrastrados hacia el fondo del tanque sedimentador, donde pueden ser separados del agua a la cual se desea darle tratamiento para remoción de dichas partículas.

Los sólidos sedimentables son aquellos que tienen una densidad mayor a la del líquido donde se encuentran, en este caso agua, y su remoción del agua o líquido a tratar es deseable por razones estéticas y de calidad bacteriológica del agua que se pretende consumir.

Figura 14: Mecanismo de formación de coágulos y flóculos a partir de materia coloidal. Fuerzas que intervienen en el mecanismo de sedimentación de una partícula.

Figura 15 Mecanismo de sólidos en suspensión sedimentables



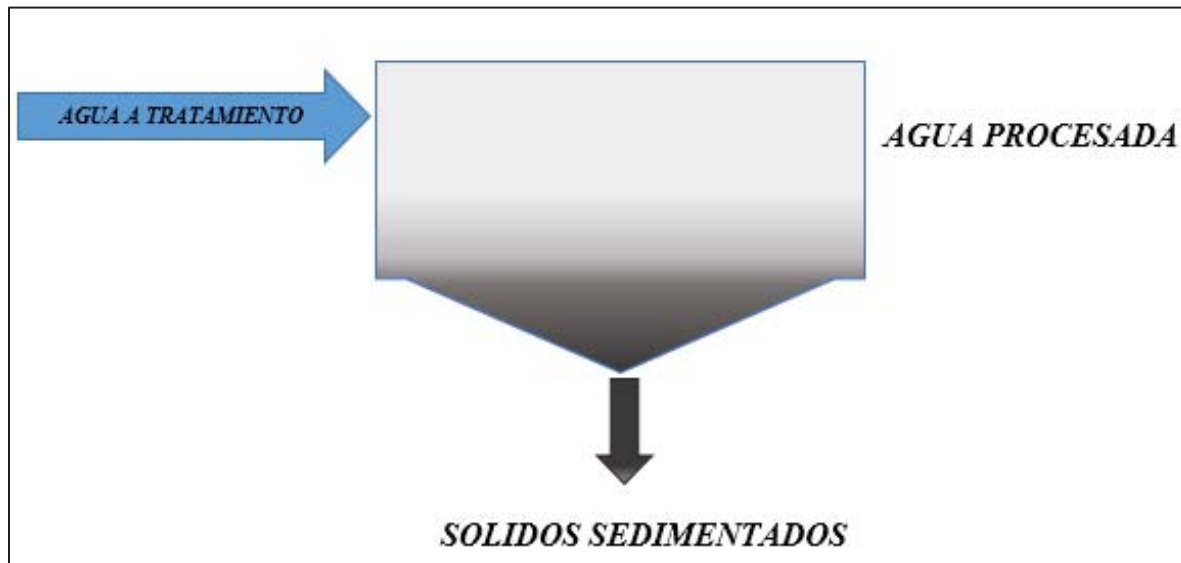
Fuente: (Rocha, 2010)

Casi siempre, la operación de separación de sólidos por sedimentación es el primer paso o uno de los primeros pasos en el tratamiento y acondicionamiento de las aguas. Aunque aparentemente es una operación sencilla, la eficiencia de la separación de los lodos por sedimentación depende de detalles muy finos que se tienen que evaluar a nivel laboratorio, a través de lo que se llama test de jarras. Esta eficiencia en la operación, se refleja en un agua de mayor calidad para etapas posteriores y en la obtención de lodos más compactos.

Un diagrama simple (Ver figura 15) de una operación de sedimentación consiste de lo siguiente: El agua a tratar o influente llega al sedimentador y después de un cierto tiempo de estancia o residencia en el sedimentador, los sólidos suspendidos y que son susceptibles de sedimentar se separan del seno del líquido por acción de la gravedad. En este tipo de tratamiento se tienen dos productos: el agua tratada con un menor contenido de sólidos, y el lodo mismo o sólidos

sedimentados. Es deseable que el contenido de sólidos en el lodo producido sea lo más compacto posible; ya que este lodo se debe filtrar y/o secar, y lo más conveniente es minimizar el volumen de lodos producidos.

Figura 16 Proceso empleado para remover solidos suspendidos por acción de la gravedad.



Fuente: Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas.

Mecanismo de la separación sólido-líquido: La separación del material en suspensión del líquido que lo contiene involucra un proceso netamente físico. En este proceso se manifiestan una serie de fuerzas como son:

- La fuerza que provoca que el sólido sedimente y que se debe a la acción de la gravedad.
- La fuerza de oposición o el empuje que se manifiesta por el desplazamiento del líquido por la partícula suspendida que se desplaza verticalmente hacia abajo.
- La fuerza de fricción que se debe al desplazamiento de la partícula por el fluido.

Si la fuerza gravitatoria es mayor que las fuerzas de oposición, la partícula se precipita al fondo del recipiente, de lo contrario, la partícula no se separa del líquido y será arrastrada por el líquido sobrenadante que sale en la parte superior del sedimentador. (Rocha, 2010)

El factor principal que conduce a la sedimentación es la densidad de la partícula. A mayor densidad, mayor fuerza gravitacional y más eficiente separación del sólido. También influye en la separación la densidad del líquido. En nuestro caso, en que estamos hablando específicamente de tratamiento de aguas, el líquido a considerar es agua. El agua tiene una mayor densidad a menores temperaturas. Si la densidad del agua es baja el líquido se separa más fácilmente, ya que la fuerza de oposición está directamente relacionada a la densidad del fluido en que se desplaza la partícula. Aunque la densidad del agua a 10°C y a 30°C no es muy diferente, esta mínima diferencia se manifiesta en una mejor separación del sólido a altas temperaturas. (Rocha, 2010)

2.7.1.1. Tipos de sedimentación.

Las partículas de una suspensión decantan en formas distintas, según la concentración de la suspensión y las características de las partículas. Fitch (1958) describió cuatro tipos distintos de sedimentación que reflejan el efecto de la concentración de la suspensión y las propiedades floculantes de las partículas: (García Pulido, 2015)

Clase I: Sedimentación de partículas discretas.

Se caracteriza por el hecho de que las partículas conservan sus propiedades iniciales (forma, dimensión y densidad) durante su caída, y la velocidad de ésta es independiente de la concentración de sólidos. Este tipo de sedimentación es la decantación de una suspensión diluida que tiene poca o nula tendencia a flocular

Esta se observa en los desarenadores de las estructuras del pretratamiento.

Clase II: Sedimentación de partículas floculentas.

Es la decantación de una suspensión diluida de partículas floculantes. Se caracteriza por la aglomeración de las partículas a medida que sedimentan, y la modificación de las características de las mismas durante el proceso.

Este tipo de sedimentación se encuentra en los sedimentadores secundarios de las plantas de tratamiento después de la unidad biológica donde se forma el biofloc y en la salida de los floculadores de las plantas potabilizadoras.

Clase III: Sedimentación frenada o en bloques.

Cuando las partículas están suficientemente cerca unas de otras, las fuerzas entre partículas son capaces de mantenerlas en posiciones relativamente fijas con respecto unas de otras.

Como resultado, las partículas sedimentan como una masa y no como partículas discretas. A este tipo de clarificación se le designa como "*decantación en bloque*".

En este tipo de clarificación existe una elevada concentración de partículas que favorece la separación entre los sólidos sedimentados y el líquido sobrenadante.

Lo anterior se observa en las partes profundas de los sedimentadores.

Clase IV: Sedimentación por compresión o espesamiento.

Cuando las partículas entran en contacto unas con otras, se forma una masa compacta que ejerce compresión sobre las capas inferiores, esta acción se llama compresión o espesamiento.

Este tipo de sedimentación se encuentra en los espesadores de lodos por gravedad o en las tolvas de los sedimentadores.

2.8. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Literalmente un experimento es una prueba o ensayo a nivel de laboratorio. Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar o identificar las causas de los cambios en el criterio de optimización. (Ayala & Pardo, 1995)

2.8.1. Objetivos de un diseño experimental.

- Determinar cuáles son las variables que tienen mayor influencia en la variable respuesta.
- Hallar el valor de las variables controlables que influyen en la respuesta, de manera que esta tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.
- Determinar la mejor combinación de variables controlables que ayuden a reducir la variabilidad de la respuesta.
- Establecer la combinación óptima de las variables controlables, con el objetivo de minimizar los efectos incontrolables.

2.8.2. Terminología.

Factor. - Son variables independientes que pueden manipularse que se usa en el experimento de manera cualitativa o cuantitativa.

Nivel. - Son parámetros que pueden tener el factor a estudiar.

Combinación. - Es la asignación de un solo nivel a un factor, o varios niveles a todos los factores en una corrida experimental.

Variable respuesta. - Es el resultado de una corrida experimental.

Efecto. - Es el cambio de la variable respuesta por el cambio de nivel de un factor.

Interacción. - Cuando uno o más factores trabajan para producir un efecto diferente al de los efectos producidos por aquellos factores de manera individual.

Replica. - Repetición de la corrida experimental.

2.8.3. Etapas de optimización.

La optimización de un proceso por medio de diseños experimentales requiere del uso de una metodología o estrategia adecuada, que nos lleve por el camino seguro y rápido para encontrar los valores óptimos de un proceso bajo estudio. Existen tres etapas fundamentales: la primera etapa, Screening o eliminación de variables significativas; la segunda etapa, de escalamiento, que consiste en acercarse sucesivamente hacia la región óptima; y la tercera etapa, de Optimización final, que consiste en describir la región óptima por medio de modelos matemáticos de segundo orden, para luego hallar condiciones óptimas para el proceso investigado. (Ayala & Pardo, 1995)

2.8.4. Etapa SCREENING

El objetivo de esta etapa, es identificar aquellas variables que verdaderamente aumenten la eficiencia de un proceso.

En esta etapa los diseños de primer orden son recomendados. Siendo el diseño factorial el más utilizado, especialmente los diseños factoriales 2^k y factorial fraccionado. (Ayala & Pardo, 1995)

2.8.5. Diseño factorial 2^3

En el presente trabajo de investigación con el fin de optimizar el número de experimentos y el tiempo de realización de los mismos, se utilizó el diseño factorial 2^3 el cual estudio los efectos de 3 factores en 11 corridas, donde 3 significa las variables independientes y 2 significa los niveles de menor y mayor rango.

Por lo tanto, el número total de experimentos a llevarse a cabo viene definido por la relación

$$N = 2^k \dots\dots (Ec. 2.3)$$

Donde:

K: número de variables.

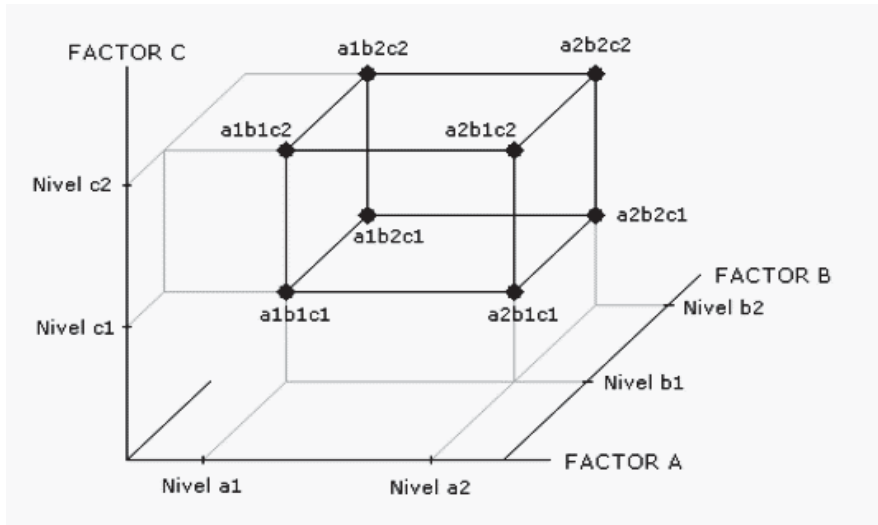
N: número de experimentos

Para tres variables controlables (k=3) el número de pruebas experimentales (N) a dos niveles más tres puntos centrales es:

$$N = 2^k + 3 = 2^3 + 3 = 8 + 3 = 11 \text{ corridas}$$

En la figura 16 se ilustra en forma esquemática, los elementos de este diseño.

Figura 17 Elementos del diseño.



Fuente: (Allende, Canessa, & Galviati, 2005)

Tabla 9 Matriz de diseño para $k = 3$

N	X_1	X_2	X_3	respuesta
1	-1	-1	-1	Y_{111}
2	1	-1	-1	Y_{211}
3	-1	1	-1	Y_{121}
4	1	1	-1	Y_{221}
5	-1	-1	1	Y_{112}
6	1	-1	1	Y_{212}
7	-1	1	1	Y_{122}
8	1	1	1	Y_{222}

Fuente: (Allende, Canessa, & Galviati, 2005)

2.8.6. Cálculo de efectos.

Para saber cuantitativamente cuanto afecta las variables sobre la respuesta o criterio de optimización de un proceso, se determina el cálculo de los efectos, los cuales se definen como la diferencia entre los valores medios de las respuestas, cuando en los tratamientos respectivos la variable se encuentra en su nivel inferior y cuando se encuentra en su nivel superior.

Definido por:

$$E_{x1} = \frac{\sum Y_+ - \sum Y_-}{(N/2)(r)} \dots\dots\dots(\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

$\sum Y_+$: Es sumatoria de las respuestas correspondiente al nivel superior de la variable en cuestión.

$\sum Y_-$: Sumatoria de las repuestas correspondientes al nivel inferior de la variable en cuestión.

N: Número de pruebas experimentales.

r: Numero de réplicas en el diseño.

El significado físico del cálculo de los efectos es ver como varia la respuesta al variar una variable o factor de su nivel inferior al superior.

Otra forma útil para el cálculo de los efectos es matricialmente.

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ij} Y_i}{\binom{N}{2}(r)} \quad j = 1, 2, \dots, N \quad \dots\dots\dots \text{(Ec. 2.5)}$$

Donde:

X_{ij} = Es la matriz de variables independientes.

$$E_{X1} = \frac{[X^T][Y]}{\binom{N}{2}(r)} \quad \dots\dots\dots \text{(Ec. 2.6)}$$

2.8.7. Análisis de varianza.

El procedimiento apropiado para probar la significancia de los efectos es mediante el análisis de varianza, probablemente sea la herramienta útil en la inferencia estadística. En esta parte, no se trata de hacer un estudio detallado del análisis de varianza, si no hacer un resumen de los conceptos para su rápida aplicación al análisis de los datos de los diseños experimentales estudiados.

La ecuación muestra la variabilidad total de los datos en sus partes componentes donde:

$$SS_{total} = SS_{efectos} + SS_{Aerror} \quad \dots\dots\dots \text{(Ec. 2.7)}$$

SS_{total} : Suma total de cuadrados corregida 0

$SS_{efectos}$: Suma de cuadrado debida a los efectos o tratamientos.

SS_{Aerror} : Suma de cuadrados debida al error.

La suma de cuadrados de los efectos e interacción es viene definido por la siguiente relación:

$$SS_{efectos} = \frac{(\sum_{i=1}^N X_{ij}Y_i)^2}{(N)(r)} = \frac{([X]^T[Y])^2}{(N)(r)} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.8})$$

$$SS_{Aerror} = \sum_{i=1}^N (Y_i^\circ - Y)^2 \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.9})$$

2.8.8. Modelo matemático.

El objetivo de hallar un modelo matemático es predecir satisfactoriamente el fenómeno estudiado, es decir que reemplazando valores de X_1 y X_2 en el rango investigado (-1 a +1), prediga valores similares a los datos observados, lo que puede ser calculado matricialmente. Una vez determinados los efectos, por lo tanto, las influencias que resultan significativas. El siguiente paso es obtener un modelo matemático que represente al proceso investigado, con el diseño factorial a dos niveles.

Únicamente podemos estimar modelos matemáticos lineales de la siguiente forma:

$$\bar{Y} = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j X_j + \sum_{u=j=1}^k b_{Uj} X_u X_j \quad U \neq j \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.10})$$

Para estimar los coeficientes b_j , b_{Uj} se hace uso de la formula matricial utilizada para la estimación de coeficientes del modelo.

$$[B] = ([X]^T \cdot [X])^{-1} \cdot ([X]^T [Y]) \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.11})$$

2.8.8.1. Decodificación del modelo matemático a escala natural.

En cualquier estudio es siempre útil determinar una relación matemática que ligue las variables estudiadas, con el fin de predecir el fenómeno en cuestión. Por otra parte, se debe decodificar el modelo matemático, hallado a escala natural. Se han deducido fórmulas para la decodificación:

- Para el termino independiente

$$a_0 = b_0 - \sum_{j=1}^k b_j \epsilon_j + \sum_{ij=1}^k b_{ij} X_u \epsilon_{ij} \quad i \neq j \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.12})$$

- Para el termino lineal

$$a_j Z_j = \frac{b_j}{\Delta Z_j} - \sum_{j,i=1}^{k-1} \frac{b_{ij}}{\Delta Z_j} \quad i \neq j \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.13})$$

- Para el termino interacción

$$a_{ji} Z_j Z_i = \frac{b_{ji}}{\Delta Z_j \Delta Z_i} \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.14})$$

Donde:

Z_j^0 : Centro del diseño para la variable j $(Z^{MAX} + Z^{MIN})/2$

ΔZ_j : Radio del diseño de la variable j $(Z^{MAX} - Z^{MIN})/2$

ϵ : Resultado de la división de Z_j^0 entre ΔZ_j

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. ÁMBITO DE LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA.

El área de estudio está ubicada en la parte sur en la llanura de Madre de Dios ceja de selva de Cusco, del distrito de Camanti para continuar por una trocha carrozable por 3 horas al sector Boca Quitari donde se encuentra la zona de operaciones perteneciente a la Empresa Minera Aurifera TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. en la Unidad Minera Metálica “**8 de diciembre Uno**” Nuestra visita al área de estudio para obtener muestras para una evaluación preliminar en el tratamiento de las aguas turbias.

Se encuentra a una altitud media de 619 msnm (ver anexos)

Ubicación.

Región : Cusco
Departamento : Cusco
Provincia : Quispicanchi
Distrito : Camanti
Sector : Boca Quitari

3.2.TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo corresponde al tipo de investigación aplicada de carácter tecnológica, ya que se puede partir de conocimientos teóricos para transformarlos en conocimientos prácticos. Es decir, la aplicación teórica de procesos fisicoquímicos en operaciones de coagulación y floculación en la clarificación del agua. (Hernandez Sampieri, Fernandez collado, & Baptista Lucio, 2014)

3.3.NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

El nivel de investigación que se realizó corresponde al descriptivo porque se describió todas las operaciones y procesos desde el inicio hasta el final sin intervención de la manipulación de variables. Este tipo de investigación facilita la obtención de información, así como las características más relevantes del proceso fisicoquímico en la clarificación del agua con el equipo test de jarras. Es decir, únicamente pretenderá medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o variables, donde el investigador debe ser capaz de definir o al menos visualizar que se medirá y sobre que o quienes se recolectará los datos. (Hernandez et al., 2014)

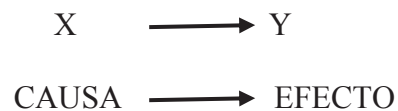
El alcance de investigación es explicativo, porque permite determinar la causa y el efecto de la manipulación de variables donde la causa son las variables independientes y el efecto la variable dependiente, dentro del propósito de investigar las relaciones entre variables, es decir explica las causas y los efectos de los eventos o fenómenos fisicoquímicos del proceso de clarificación del agua. Estas investigaciones son más estructuradas que los demás tipos de investigación, además que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno al que se hace referencia. Es decir, es un estudio de causa-efecto.

Por lo que, la investigación se dirigió a la zona de operaciones de la Unidad Minera Metálica **“8 de diciembre Uno”** perteneciente a TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. en Camanti – Quincemil región Cusco con el propósito de clarificar el agua, a partir de las aguas turbias del beneficio gravimétrico utilizando un equipo test de jarras.

3.4.DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Hernández, Fernández & Baptista. (2014). Hace referencia que la presente investigación asume un enfoque experimental por que el investigador manipula una o más variables independientes de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas denominadas efectos. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales.

En el presente trabajo de investigación a presentar refiere como causa la dosis de coagulante, la dosis de floculante y dosis del auxiliar de coagulante. El efecto es la turbiedad y los sólidos suspendidos como consecuencia de estas variables es la clarificación del agua.



Donde:

X: Es la variable independiente, que es manipulada (causa).

Y: es la variable dependiente, que es el efecto.

3.5.MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo utilizará el método inductivo y deductivo. La inducción permite determinar conocimientos generales del trabajo de investigación a partir de la observación de hechos (Problemática, Marco Teórico, proceso, manipulación de variables independientes) de manera que

responde a un enfoque cuantitativo que busca determinar la relación entre ambas variables y su contrastación.

Aplicamos el método deductivo, porque considera la conclusión del trabajo de investigación, esto significa que las conclusiones es consecuencia de los efectos es decir la variable dependiente, cuando ellas resultan verdaderas y tienen validez. Para nuestro caso, es la clarificación del agua.

3.6.UNIVERSO Y MUESTRA

El universo a considerar son todo el material removido que enturbian las aguas que contiene arcillas, limos, gravas, arenas, materiales orgánicos, del distrito de Camanti en el sector de Boca Quitari, de la provincia de Quispicanchis.

La muestra, es estrictamente del sector Boca Quitari donde opera la Unidad Minera Metálica “**8 de diciembre Uno**” se extrajo esta muestra que consta de 40 litros de agua turbia y fueron conducidos al laboratorio Físicoquímico en el ambiente LQ – 206 de la Escuela Profesional de Química del departamento académico de Química de la Facultad de Ciencias de la UNSAAC para su respectivo análisis y procesamiento. (ver en anexo constancia de uso de laboratorio)

Todo esto se realizó por conveniencia y de acuerdo a los requerimientos del laboratorio. Esta conveniencia se define como un procedimiento de muestreo cuantitativo, donde el investigador selecciona la muestra, ya que están dispuestos y disponibles para ser estudiados, aquí la representatividad de la muestra la determina el investigador o investigadores de modo subjetivo.

3.7.TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el desarrollo de la presente tesis, se utilizó las siguientes técnicas de información como sigue:

3.7.1. Técnicas

- Observación directa; se realizó una evaluación preliminar del proceso de coagulación y floculación insitu para clarificar el agua en el sector Boca Quitari, que nos permitirá obtener una información confiable del proceso y realizar un análisis de los posibles resultados.

- Entrevista; esta técnica se aplicó al gerente de la empresa TUNQUIMAYU MINING “**8 de diciembre Uno**”. El Sr. Crisologo Quispe, con la finalidad de obtener datos como fuentes directas a cerca de su empresa y el tratamiento de aguas turbias que se aplica.

- Análisis de bibliografía; buscar la información bibliográfica para elaborar el marco teórico conceptual.

- Internet; con la finalidad de capturar la mayor información oportuna, precisa y confiable.

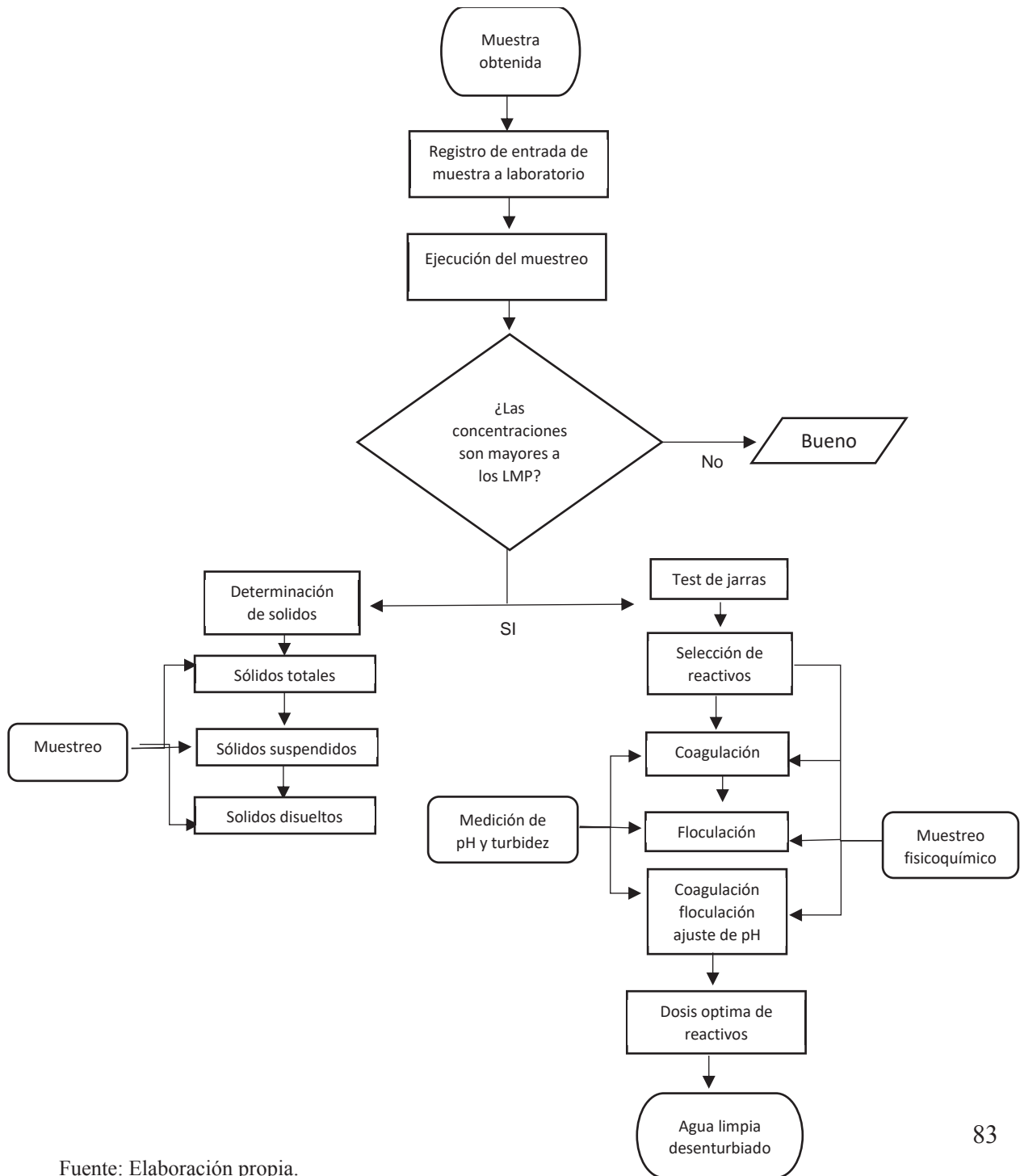
3.7.2. Instrumentos de recolección de datos.

Se utilizó para la investigación tablas, diagramas, que permitieron interpretar los datos cuantitativos obtenidos en la parte experimental.

Por último, se utilizó el diseño experimental 2^3 mediante el software de programación de estadística y diseño experimental Statgraphics, versión CENTURIÓN XVI en el cual se observó la validez de los procesos de experimentación obtenidos a nivel de laboratorio.

3.8. DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE ANALISIS DEL AGUA TURBIA.

Figura 18 Diagrama de flujo del método



Fuente: Elaboración propia.

3.9. MUESTRA DE ESTUDIO.

La muestra extraída está constituida por el efluente líquido descargado (agua turbia), producto del proceso de beneficio en la recuperación de oro en la zona de operaciones pertenecen a la Empresa Minera Aurífera TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. en la Unidad Minera Metálica “8 de diciembre Uno”.

3.9.1. Equipos e instrumentos.

Material necesario para la cuantificación de las muestras se dan en las tablas 10 y 11

Tabla 10 Equipos e instrumentos empleados durante el test de sólidos

Equipos	Instrumentos
Estufa de desecación ventilada. MEMMERT. CIMATEC S.A.C	Probetas de 100ml, y 50ml.
Sistema bomba de vacío. GAST. DOA-P704-AA H.W. Kessel S.A	Probetas de 500ml
Balanza analítica AND. H.W. FX- 300i (d=0.001g). H.W. Kessel S.A	Crisol gooch o capsulas de porcelana de 50ml.
	Filtro de 1.2 μ de tamaño de poro.
	Pinzas para manipular.
	Guantes.
	Frasco vaso, botella de 20 L.
	Matraz kitasato de un litro de capacidad.
	Porta filtro de 47 mm para matraz kitasato.
	Recipiente desecador de gel de sílice.
	Piseta plástica de 500 ml.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11 Equipos e instrumentos empleados durante el test de jarras.

Equipos	Instrumentos
<p>pH/ °C metro digital. ATC tipo lapicero portátil relativo.</p> <p>Turbidímetro LAMOTTE 2020wi H.W. Kessel S.A</p> <p>Cronometro. STEREN CLK-15</p> <p>Floculador (Agitador mecánico de varilla múltiple)</p>	<p>Vasos precipitados de 1000 ml.</p> <p>Vasos precipitados de 100 ml.</p> <p>Matraz de aforo de 50 ml.</p> <p>Pipetas plásticas de 3 ml.</p> <p>Pipeta de vidrio de 10 ml.</p> <p>Piseta plástica de 500 ml.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el **turbidímetro LAMOTTE** un instrumento nefelométrico que mide la turbidez causada por partículas suspendidas en un líquido. Haciendo pasar un rayo de luz a través de la muestra se mide la luz reflejada por las partículas en un ángulo de 90° con respecto al rayo incidente cuyas características son:

Unidades de medición: NTU, AU, ASBC, EBC

Rango de medición: 0 - 4000 NTU/FNU, 0-10,500 ASBC, 0-150 EBC

Precisión (más de 100 NTU): ±3%

Calibración: 0.02 NTU, 10.0 NTU y 1000 NTU

Se construyó y utilizó un agitador mecánico de cuatro posiciones con las características de un equipo test de jarras de acuerdo a las especificaciones técnicas que requieren estos instrumentos.

(ver tabla 12) El montaje del equipo se puede ver en el anexo del panel fotográfico. El equipo test de jarras tiene las siguientes características:

- Adecuado para vasos de forma alta de 1 L.
- Velocidad de agitación regulable, controlada por un potenciómetro analógico.
- Varillas agitadoras de acero inox. de Ø 5 mm. y ajustables en altura.

Tabla 12 Referencias del agitador mecánico construido

Referencia	
Agitación	
Nº posiciones	4
Potencia (W)	50
Rango de velocidad (rpm)	20-350
Resolución (rpm)	0.1
Precisión (rpm)	0.05% +1 dígito
Temporizador (min)	0-240
Datos Generales	
Dimensiones (mm)	800x200x410
Peso (kg)	10.5

Fuente: Elaboración propia.

3.9.2. Muestreo.

Durante este procedimiento se ha tomado muestras representativas a lo largo del cauce del efluente, recogiendo agua en distintos puntos desde el punto de descarga hasta la llegada a un cauce de río y mezclando las diferentes muestras hasta formar una muestra compuesta representativa y homogénea para ser evaluada.

3.10. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE.

La caracterización del efluente consistió en obtener los datos referentes a la muestra de agua en proceso como son:

- Sólidos totales (STT)
- Sólidos suspendidos totales. (SST)
- Sólidos totales disueltos. (SDT)
- Turbiedad.
- pH
- Presencia de grasas
- Color
- Presencia de burbujas.
- Olor
- Temperatura

3.10.1. Determinación de sólidos.

Estos ensayos ayudaron a cuantificar las distintas fracciones de sólidos para un volumen de muestras de 50 ml antes del tratamiento y después del mismo los resultados se expresan en tablas se cuantificaron los sólidos:

- Totales
- Disueltos
- Suspendidos

PROCEDIMIENTOS

a). - Sólidos totales. (STT)

La capsula utilizada es llevada a la estufa por dos horas a 105 °C y enfriada en el desecador para pesarla, se midió un volumen de muestra de agua de 50ml. Se transfirió este volumen de muestra bien medido y mezclada a la capsula y llevado a la estufa hasta que seque aproximadamente una hora a 103 - 105°C, luego, se enfrió la cápsula en el desecador para equilibrar la temperatura y pesarlo.

Cálculo

$$\text{mg de STT} / L = \frac{(A-B)*1000}{\text{Volumen de muestra, ml}} \quad \dots(\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

A: Peso de residuo seco + capsula, mg

B: Peso vacío de la cápsula, mg

b). - Sólidos suspendidos totales. (SST)

El volumen de la muestra es 50ml se agito vigorosamente y se filtró, utilizando para ello un equipo de filtración al vacío, constituido por un matraz kitasato de recepción del líquido filtrado, una porta filtros para colocar el filtro y un embudo de filtración donde se adiciono la muestra. Se conectó el equipo y una vez filtrada la muestra se recogió el filtro y el residuo retenido en el filtro se seca a una temperatura constante a 103-105°C durante una hora. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

Posteriormente se dejó enfriar en el desecador y se pesó, hasta conseguir un peso constante.

El contenido en sólidos en suspensión se calculó a partir de la siguiente expresión:

Cálculo

$$\text{mg de SST} / \text{L} = \frac{(A-B)*1000}{\text{Volumen de muestra, ml}} \quad \dots(\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

A: Peso del filtro + residuo seco, mg

B: Peso del filtro, mg

c). - Solidos disueltos totales (SDT)

Inicialmente la capsula o crisol de porcelana se introdujo en la estufa a 105°C durante dos horas. Una vez pasadas las horas se retiró el crisol de porcelana y se enfrió en el desecador para luego ser pesado. Para este análisis se tiene un volumen de 50 ml de muestra bien mezclado una vez filtrada la muestra es llevada lo filtrado a la cápsula de porcelana que se pesó (se registró el peso) y se llevó a la estufa para eliminar el agua durante 1 hora a 105°C, se enfrió también en el desecador para equilibrar la temperatura y pesarlo y se calculó con la siguiente expresión.

Cálculo

$$\text{mg de SDT} / \text{L} = \frac{(A-B)*1000}{\text{Volumen de muestra, ml}} \quad \dots(\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

A: Peso de residuo seco + cápsula (mg)

B: Peso vacío de la cápsula (mg)

3.11. PRUEBAS FISICOQUIMICAS.

Las pruebas fisicoquímicas se realizaron en el equipo test de jarras ver figura 18 el agitador mecánico de varilla múltiple.

Figura 19 Agitador mecánico construido



Fuente: Elaboración propia

Se evaluaron las variables en el equipo de test de jarras con las condiciones de operación adecuadas al experimento, se evaluó las siguientes variables:

Coagulantes. (Inorgánicos)

Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

Cloruro férrico $FeCl_3$

Auxiliar de coagulante

Cal CaO

Floculantes (polímeros)

Separan MG 200

Flopam PHP 40

El fundamento de este trabajo es realizarlo con el equipo test de jarras o agitador mecánico de varilla múltiple este aparato nos permite poner las muestras en paralelo y así poder comparar los

resultados. En estos ensayos se realizó un tratamiento químico sobre el agua que primero consistió en una técnica de coagulación y después una técnica de floculación el objetivo de este experimento es determinar la influencia de las diferentes concentraciones de los reactivos y probar el efecto de las distintas cargas eléctricas que estos pueden tener. Se investigó también la interacción entre los procesos coagulación-floculación para conseguir un resultado óptimo.

3.11.1. Condiciones de operación

Con estos parámetros se evaluaron las variables independientes en todas las pruebas experimentales de coagulación y floculación con el equipo test de jarras a esta práctica se pudo adecuar las condiciones operativas y obtener los resultados óptimos, estos parámetros se muestra en la tabla 13.

Tabla 13 *Parámetros operativas del test de jarras.*

Parámetros de operación (test de jarras)			
	Velocidad en (rpm)	Tiempo (min)	Volumen de muestra (ml)
Agitación rápida	200	1	500
Agitación lenta	40	5	500
Sedimentación	0	20	500

Fuente: Elaboración propia.

Se preparó soluciones madres con los reactivos a diferentes concentraciones tales que las cantidades adecuadas a utilizarse en los ensayos de jarras se pueda medir exacto y convenientemente. Estas soluciones se aplicaron a una serie de ensayos de sedimentación, donde se avaluaron estas concentraciones y se eligieron las más convenientes del proceso, para cada reactivo los cuales se expresaron en una tabla en el capítulo siguiente.

3.11.2. Pruebas preliminares

a). - Ensayos para la selección de coagulante y floculante.

Para el desarrollo experimental en la selección de reactivos se realizó una serie de ensayos a pH natural del efluente, temperatura ambiente, sin combinación de reactivos para este proceso, la serie de pruebas es mayor para el floculante, se usan 8 y 12 vasos de precipitados de esta forma se evaluó la acción de los coagulantes y floculantes, aplicando parámetros de operación para cada muestra con idénticas condiciones de trabajo, con el objeto de seleccionar los reactivos más eficientes.

Procedimiento:

1.- Se vierten 500 cm³ de muestra de agua a cada vaso y se colocan en el equipo test de jarras asimismo se mide la turbidez el pH la temperatura del agua.

2.- Se aplica a cada vaso la dosis del reactivo a evaluar la cantidad que sea más conveniente.

3.- Mesclado rápido se debe agitar a una velocidad de 200 rpm durante un minuto, pasado el minuto se baja la velocidad para la coagulación.

4.- Mesclado lento se debe agitar a una velocidad de 40 rpm durante 5 minutos. para la floculación.

5.- Se dejó sedimentar 20 minutos.

6.- Se extrajo el sobrenadante de cada jarra en los precipitados de 100 ml luego se miden los nuevos valores de pH, turbidez, temperatura y observar si clarifica el agua.

Estas medidas se registraron en tablas para cada muestra y se anotó las observaciones del floculo formado.

Se analizó la eficiencia de remoción de turbiedad en el tratamiento de agua turbia. La eficiencia está determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \frac{\text{Turbidez inicial(NTU)} - \text{Turbidez final(NTU)}}{\text{Turbidez inicial(NTU)}} \times 100 \quad \dots(\text{Ec. 3.4})$$

Dado que los coagulantes son sales de alúmina y hierro reducen el pH del agua tratada se evaluó también regulando el pH aplicando una dosis de solución madre de cal y se realizó los ensayos correspondientes. También se calculó la dosis de coagulante requerido o la concentración en la jarra en gramos por litro con la siguiente relación.

$$C_{\text{concentración deseada}} = C_{\text{solución}} * \frac{\text{Vol. de coagulante a dosificar en la jarra}}{\text{Vol. de agua en la jarra}} \quad \dots (\text{Ec. 3.5})$$

Las pruebas tienen una secuencia correlativa que se registraron en tablas y gráficas.

3.11.3. Pruebas de coagulación y floculación

En esta práctica operacional se determinó las mejores condiciones del proceso que se requieren al conocer las variables y sus respectivas dosis que intervienen directamente en el experimento.

Las mejores dosis se obtuvieron por una serie de pruebas, se reguló el pH, con una concentración de CaO, requerido, hasta que se obtuvo la mejor combinación considerando los rangos de dosificación para efectuar la siguiente serie de pruebas con el equipo de test de jarras.

a). - Rango de estudio para el coagulante

En la primera serie de pruebas de modifiqué la dosis de coagulante seleccionado y se mantuvo constantes la dosis del regulador de pH y floculante, que se aplicaron a la muestra. Después de obtener el mejor resultado con la dosis del coagulante, se registran en una tabla y se efectuó una segunda serie de pruebas.

b). - Rango de estudio para el regulador de pH

En la segunda serie de pruebas se efectuó variando la dosis de cal, manteniendo la dosis de floculante y la dosis de coagulante que resulto mejor en la primera serie de pruebas La dosis de cal que resulto mejor en sedimentar los sólidos suspendidos, se registran en una tabla y se realizó una tercera serie de pruebas para observar los resultados con la dosis de floculante.

c). - Rango de estudio para el floculante

En la tercera serie de pruebas se modificó la dosis de floculante manteniendo los mejores resultados obtenidos de la primera y segunda serie de pruebas. Con estas pruebas se obtuvo el resultado óptimo de cada reactivo. El cálculo de las dosis de cada reactivo aplicado a cada jarra y el % remoción de turbiedad están registrados para cada serie de pruebas mediante tablas y representadas con graficas en el siguiente capítulo.

d). - Describiendo las condiciones operativas de los ensayos desarrollados.

Primeramente, se hizo un ajuste de volumen en dosis de los reactivos seleccionados coagulante, floculante y regulador de pH para obtener los mejores resultados.

Una vez hechos estos ajustes se preparó los vasos de precipitado de 1000cm³ introduciendo en cada uno 500 ml de muestra original se colocaron los vasos en el equipo test de jarras se añadió un volumen de coagulante y acondicionador de pH a cada uno de los diferentes vasos de precipitados, se estableció la velocidad de mezclado rápido luego adicionar el floculante con velocidad de mezclado lento manteniendo los mismos parámetros de operación utilizados. Una vez concluida la sedimentación, se midió el pH y la turbidez de cada muestra (tomando una muestra de sobrenadante haciendo uso de una pipeta para evitar re suspender lo sedimentado y medirlo en el turbidimetro).

Para la determinación del pH óptimo en este experimento será de acuerdo al porcentaje de remoción de turbiedad. El pH se ajusta mediante la adición de cal buscando uno próximo a la neutralidad, será el más óptimo.

e). - Determinación de las variables y niveles de estudio.

A partir de estos resultados se fueron determinando las variables del proceso y los valores necesarios para desarrollar el diseño experimental propuesto en la metodología. En esta etapa ya se conocen las variables independientes y la variable respuesta, se determinó los niveles para cada variable independiente como se pueden observar en las tablas 14 y 15. En los siguientes ensayos habrá combinación de reactivos, con distintas dosificaciones, con el fin de ajustar y tener efecto sobre la variable dependiente obteniendo resultados para el análisis con el software estadístico statgraphics

Tabla 14 Variables del diseño experimental.

Tipo de Variable	Variable	Definición	Unidades
Dependientes	Turbidez	Medida de la disminución de transparencia de un líquido.	NTU
	SST	Fracción de sólidos totales retenido en un filtro de un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura de 103-105 °C	mg/L
Independientes	Dosis de coagulante	Relación de la masa del agente activo por volumen de solución.	mg/L
	Dosis de floculante		mg/L
	Dosis del regulador de pH		mg/L

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Variables del proceso

Variables	Niveles	
	Bajo	Alto
Dosis de coagulante (mg/L)	--	--
Dosis de floculante (mg/L)	--	--
Dosis de regulador de pH (mg/L)	--	--

Fuente: Elaboración propia

f). - Obtención de datos

Se procede inicialmente con la revisión y análisis de la información primaria de los datos obtenidos en tablas para establecerlos como información básica para el desarrollo de los experimentos y obtener resultados a los cuales, se aplicó las técnicas estadísticas para luego interpretar las tablas y gráficos, que este programa estadístico género.

El objetivo del caso es determinar el efecto de las variables independientes y la interacción de estas variables en la turbiedad del agua.

variabilidad de la respuesta.

- Establecer la combinación óptima de las variables controlables, con el objetivo de minimizar los efectos incontrolables.

3.11.4. Diseño del experimento.

Se realizó un diseño factorial 2^k (screening) teniendo en cuenta tres factores: Dosis de coagulante, dosis de floculante, dosis del regulador de pH y se tomó como variables respuestas: Turbiedad y SST.

Para este experimento se usó un diseño de 2 niveles, con 3 factores, con 3 réplicas centrales y consta de 8 combinaciones cada uno, que se describe a continuación en la tabla 16.

Tabla 16 Variable en escala natural y codificada con replicas en el centro.

N° Pruebas	Escala Codificada (Zj)			Escala Natural (Xj)			Respuesta (Y)
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Dc	Df	D.RpH.	Turbiedad residual
1	-1	-1	-1				
2	1	-1	-1				
3	-1	1	-1				
4	1	1	-1				
5	-1	-1	1				
6	1	-1	1				
7	-1	1	1				
8	1	1	1				
9	0	0	0				
9	0	0	0				
9	0	0	0				

Fuente: Elaboración propia.

3.12. VERIFICAR LOS VALORES LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES

Al final de todo el trabajo y con los resultados que se obtuvieron durante el desarrollo experimental se pudo comparar y verificar los valores límites máximos permisibles de acuerdo a las normas legales, para los efluentes líquidos descargados en la minera aurífera TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS

4.1.CARACTERIZACION DEL AGUA TURBIA.

Cabe recalcar los resultados obtenidos de la muestra se realizaron antes del tratamiento correspondiente.

Caracterización del agua en el sector Boca Quitari son:

- Características visuales: Terroso, turbio
- Solidos totales (STT): 2360 mg/L
- Solidos suspendidos totales. (SST): 2480 mg/L
- Solidos totales disueltos. (SDT): 160 mg/L
- Turbiedad: 3893 NTU
- pH: 7.16
- Presencia de grasas: No existente
- Color: Marron
- Presencia de burbujas: No presenta
- Olor: Ninguno
- Temperatura: 17.4 °C

Como referencia de comparación en la tabla 17 se muestran los resultados que hizo a través de los servicios del laboratorio de análisis fisicoquímico de la Universidad Nacional de San Antonio Abab del Cusco. (ver anexo 4) informe de analisis N° 0656-17-LAQ el volumen de muestra de agua en proceso analizado fue de un litro.

Tabla 17 Caracterización del agua durante el proceso.

Parámetro	Unidades	Resultados
Turbiedad	NTU	3936.00
pH		7.30
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	224.00
Dureza CaCO_3	ppm	152.30
Calcio	ppm	42.56
Magnesio	ppm	10.17
Cloruros	ppm	10.50
Sulfatos	ppm	144.50
Bicarbonatos (Alcalinidad)	ppm	136.00
Carbonatos	ppm	0.00
Hierro	ppm	0.69
Aluminio	ppm	0.049
Sólidos suspendidos	ppm	2230.00
Sales solubles totales	ppm	342.80

Fuente: Informe de análisis de laboratorio UNSAAC.

En la tabla 18 se comparan las características puntuales de la muestra, obtenidas experimentalmente y por el servicio de laboratorio solicitado con los parámetros establecidos por la norma.

Tabla 18 Comparación de parámetros.

Parámetro	LMP según la norma	Informe de laboratorio	Experimentalmente
SST (mg/L)	50	2230	2360
Turbiedad (NTU)		3936	3893
pH	6 - 9	7.30	7.16

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos obtenidos, en la tabla 18 la muestra del efluente líquido descargado del sector Boca Quitari afirma que tiene un alto contenido de sólidos en suspensión lo que implica una turbiedad elevada en el agua, los dos resultados obtenidos 3893 NTU y 3936 NTU corroboran el valor de los SST.

La norma contempla que no debe superarse en cualquier momento el valor de 50 mg/L y en promedio anual 25 mg/L. Este parámetro, experimentalmente hallado reporta 2360 mg/L en este sentido la norma legal respecto al uso del agua no se cumple en la Empresa Minera Aurífera TUNQUIMAYO MINING.

Se observa en la tabla 8 para el parámetro de la turbiedad la norma no la contempla, pero si a los sólidos suspendidos.

El Diario oficial el peruano,(2017) contempla este parámetro en el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en la categoría de aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable donde el valor del parámetro establecido es de 5 NTU.

(Diario oficial el peruano, 2017)

Otro parámetro puntual es el pH, observando la tabla podemos afirmar que este parámetro cumple, porque se encuentra dentro del rango establecido por la norma.

4.1.1. Determinación de los sólidos.

En la tabla 19 se reportan los datos experimentales como los pesos y volúmenes y el cálculo de los sólidos totales, disueltos y suspendidos.

Tabla 19 Sólidos iniciales antes del tratamiento

Capsula	Volumen Muestra [ml]	Peso Vacío [g]	Peso seco [g]	Sólidos totales [mg/L]	Sólidos suspendidos [mg/L]
Totales (1)	50 ml	40.536	40.658	2440	2360
Disueltos (2)	50 ml	39.565	39.569	80	

Fuente: Elaboración propia

$$STT = \frac{P_s - P_v}{V_m}$$

$$STT = \frac{40.658g - 40.536g}{50ml} * \frac{1000mg}{1g} * \frac{1000ml}{1L} = 2240 \frac{mg}{L}$$

$$SDT = \frac{39.569g - 39.565g}{50ml} * \frac{1000mg}{1g} * \frac{1000ml}{1L} = 80 \frac{mg}{L}$$

$$SST = 2440 \frac{mg}{L} - 80 \frac{mg}{L} = 2360 \frac{mg}{L}$$

Para determinar los STT y SDT las capsulas son secados entre 103 - 105 °C por una hora y en nuestra experiencia son secados por dos horas para no retener agua cristalizada y para la determinación de sólidos disueltos se filtra un volumen de agua (50 ml) un volumen conveniente. El volumen de la muestra necesaria depende de la carga que contenga el agua a menor carga mayor volumen de agua para nuestra experiencia la muestra es turbia.

4.2.RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES.

Aquí se encuentran los datos experimentales de la preparación de soluciones con diferentes concentraciones para los coagulantes, floculantes, y el regulador de pH estas concentraciones se aplicaron en forma de dosis a la muestra evaluada.

En la tabla 20 se muestran las concentraciones de los reactivos.

Tabla 20 *Solución madre de reactivos.*

Preparación de soluciones					
Reactivos	cantidad	Volumen de agua en (ml)	mg/L	Concentración %	1 ml/L de solución equivale en mg/L
Coagulante	1g	500	2000	2	4
Floculante	0.5g	1000	500	0.5	1
Auxiliar de coagulante	1g	300	3333.333	3.333	6.666

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Selección del coagulante.

En esta primera etapa se determinó la eficiencia de cada reactivo sin combinaciones, para seleccionar aquellos que provocan una mayor remoción de turbiedad a pH ajustable, se aplicaron diferentes dosificaciones, se tomó medida de la velocidad de sedimentación, se observó la clarificación conseguida y se aplicaron a estos ensayos condiciones operativas semejantes, para obtener los mejores resultados. En las tablas 21 y 22 se registran los datos de estos experimentos. Ver anexo 06 hoja de datos de seguridad de los reactivos utilizados.

Pruebas con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para una concentración de [2g/L]

Tabla 21 Resultados (R1) con el sulfato de aluminio

Pruebas	Turbidez inicial [NTU]	pH inicial	Dosis [ml]	Dosis [mg/L]	Turbidez final [NTU]	pH final	VS [cm/min]	Clarificación total	Remoción [%]	Dosis optima [mg/L]
1	3905	7.23	1	4	51.6	6.63	0.8	si	98.68	
2	3889	7.14	2	8	48.88	6.34	0.5	si	98.74	
3	3876	7.13	3	12	45.29	6.19	0.8	si	98.83	
4	3893	7.16	4	16	41.58	5.91	1.5	si	98.93	16
5	3917	7.19	5	20	44.49	5.83	1.2	si	98.86	
6	3895	7.21	6	24	44.28	5.69	1	si	98.86	
7	3879	7.27	7	28	48.11	5.36	0.5	si	98.86	
8	3926	7.16	8	32	48.92	5.01	0.4	si	98.75	

Fuente: Elaboración propia

Pruebas con FeCl_3 para una concentración de [2g/L]

Tabla 22 Resultados (R2) con el cloruro férrico

Pruebas	Turbidez inicial [NTU]	pH inicial	Dosis [ml]	Dosis [mg/L]	Turbidez final [NTU]	pH final	VS [cm/min]	Clarificación total	Remoción [%]	Dosis optima [mg/L]
9	3906	7.17	1	4	49.26	6.47	0.5	si	98.74	
10	3891	7.21	2	8	48.08	6.21	1.5	si	98.76	
11	3886	7.09	3	12	45.95	6.17	1.5	si	98.81	
12	3895	7.13	4	16	45.33	6.09	1	si	98.83	
13	3915	7.15	5	20	44.06	5.95	2	si	98.87	
14	3917	7.11	6	24	43.54	5.85	2.5	si	98.89	24
15	3889	7.09	7	28	44.56	5.33	1.8	si	98.85	
16	3919	7.11	8	32	45.11	4.75	1.3	si	98.85	

Fuente: Elaboración propia.

a). - Ejemplo de cálculo de la dosis óptima de coagulante en mg/L

Para cada jarra la dosis se calcula aplicando la ecuación 2:

$$C_4 = 2000 \text{ mg/L} \times \frac{4 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 16 \text{ mg/L} = 16 \text{ ppm}$$

$$C_{14} = 2000 \text{ mg/L} \times \frac{6 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 24 \text{ mg/L} = 24 \text{ ppm}$$

b). - Ejemplo de cálculo del (%) remoción de la turbiedad.

Para cada jarra se calcula aplicando la ecuación 1:

$$(\%) \text{ Remoción}_4 = \frac{3893(\text{NTU}) - 41.58(\text{NTU})}{3893(\text{NTU})} \times 100 = 98.93\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_{14} = \frac{3917(\text{NTU}) - 43.54(\text{NTU})}{3917(\text{NTU})} \times 100 = 98.89\%$$

En la tabla 22 se observa que el sulfato de aluminio en el rango de concentración evaluado presenta un porcentaje significativo de material coagulado, es interesante destacar que la velocidad de sedimentación disminuye con el aumento en la concentración del coagulante y se consigue la clarificación total en los 8 ensayos y el descenso del pH.

En la tabla 23 con los resultados para el cloruro férrico se pueden concluir que es adecuado desde el punto de vista de la clarificación, es ligeramente amarillo, se observan floculos de buen tamaño, y la velocidad de sedimentación disminuye junto al pH con el aumento en la concentración. Comparando las velocidades de sedimentación y las características del líquido podemos concluir que el coagulante que presenta una mayor eficiencia es el sulfato de aluminio.

4.2.2. Selección de floculante.

Pruebas con el **SEPARAN MG 200** para una concentración de [0.5 g/L]

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 23 y 24

Tabla 23 Resultados (R3) con el Seperan MG 200

Pruebas	Turbidez inicial [NTU]	pH inicial	Dosis [ml]	Dosis [mg/L]	Turbidez final [NTU]	pH final	VS [cm/min]	Clarificación total	Remoción [%]	Dosis optima [mg/L]
17	3911	7.21	1	1	832	6.75	2	no	78.73	
18	3883	7.18	2	2	464	6.84	2.5	no	88.05	
19	3897	7.13	3	3	432	6.85	2.3	no	88.91	
20	3892	7.23	4	4	474	6.82	2.2	no	87.82	
21	3896	7.16	5	5	444	6.75	2.6	no	88.60	
22	3905	7.19	6	6	398	6.83	2.9	no	89.81	
23	3886	7.18	7	7	377	6.89	3.1	no	90.29	
24	3893	7.23	8	8	356	6.91	3.2	no	90.85	
25	3879	7.17	9	9	338	6.84	3.4	no	91.28	
26	3882	7.22	10	10	327	7.08	3.8	no	91.57	10
27	3903	7.25	11	11	403	6.95	1.9	no	89.67	
28	3899	7.15	12	12	496	7.17	1.3	no	87.28	

Fuente: Elaboración propia.

Pruebas con el **FLOPAM PHP 40** para una concentración de [0.5 g/L]

Tabla 24 Resultados (R4) con el Flopam PHP 40

Pruebas	Turbidez inicial [NTU]	pH inicial	Dosis [ml]	Dosis [mg/L]	Turbidez final [NTU]	pH final	VS [cm/min]	Clarificación total	Remoción [%]	Dosis optima [mg/L]
29	3901	7.15	1	1	120	7.18	3.5	no	96.92	1
30	3889	7.23	2	2	182	7.22	2.5	no	95.32	
31	3883	7.22	3	3	203	7.23	2	no	94.77	
32	3896	7.16	4	4	239	7.28	1.5	no	93.86	
33	3906	7.19	5	5	285	7.24	1	no	92.70	
34	3895	7.25	6	6	312	7.15	0.8	no	91.99	
35	3881	7.23	7	7	320	7.21	1	no	91.75	
36	3911	7.16	8	8	347	7.21	1.2	no	91.12	
37	3896	7.14	9	9	391	7.24	1	no	89.96	
38	3916	7.18	10	10	466	7.29	0.5	no	88.10	
39	3922	7.21	11	11	497	7.31	0.5	no	87.33	
40	3893	7.17	12	12	521	7.27	0.5	no	86.62	

Fuente: Elaboración propia.

a). - Ejemplo de cálculo de la dosis óptima de floculante en mg/L

Para cada jarra la dosis se calcula aplicando la ecuación 2:

$$C_{26} = 500 \text{ mg/L} \times \frac{10 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 10 \text{ mg/L} = 10 \text{ ppm}$$

$$C_{29} = 500 \text{ mg/L} \times \frac{1 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 1 \text{ mg/L} = 1 \text{ ppm}$$

b). - Ejemplo de cálculo del (%) remoción de la turbiedad.

Para cada jarra se calcula aplicando la ecuación 1:

$$(\%) \text{ Remoción}_{26} = \frac{3882(\text{NTU}) - 327(\text{NTU})}{3882(\text{NTU})} \times 100 = 91.57\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_{29} = \frac{3901(\text{NTU}) - 120(\text{NTU})}{3901(\text{NTU})} \times 100 = 96.92\%$$

En las tablas 23 y 24 los floculantes actúan regularmente eficientes, examinando los resultados para el floculante anionico SEPARAN MG 200, se verifica que un aumento de la concentración del mismo provoca una disminución sensible en la velocidad de sedimentación, y para el floculante anionico FLOPAM PHP 40, se puede concluir que tampoco es adecuado desde el punto de vista de la clarificación de la muestra porque también, queda en suspensión un porcentaje de solidos floculados sin embargo este floculante es que consigue mejor remoción de la turbiedad

Comparando las velocidades de sedimentación y las características del líquido sobrenadante de los dos floculantes ensayados, podemos determinar que el floculante que presenta una mayor eficiencia es el FLOPAM PHP 40 a una concentración del mismo equivalente a 0.5 g/L.

Como tema puntual centraremos los resultados óptimos obtenidos, por los ensayos realizados para la selección de coagulante y floculante, se realizó un análisis gráfico con los datos obtenidos para comparar estos resultados y consolidar la selección de estos, razón por el cual, en adelante R

representa los resultados óptimos de cada reactivo como resultado de los ensayos realizados como se muestran:

R₁ = Resultados óptimos del Al₂ (SO₄)₃

R₂ = Resultados óptimos del FeCL₃

R₃ = Resultados óptimos del Separan MG 200

R₄ = Resultados óptimos del Flopam PHP 40

Iniciando este análisis con los resultados óptimos de cada coagulante y floculante se observan las siguientes características como se muestran en la tabla 25

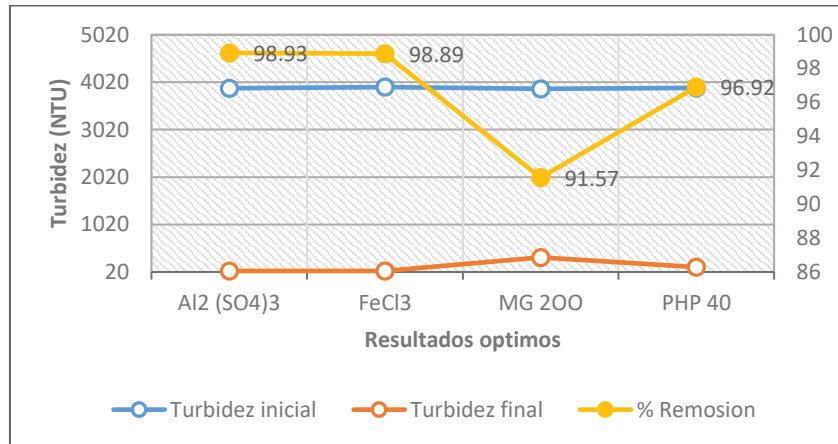
Tabla 25 Resumen de observaciones en la selección de reactivos

R	Observaciones.
R ₁	Transparente, sedimenta rápido, forma floculos.
R ₂	Transparente ligeramente amarillo, sedimenta rápido, forma floculos grandes.
R ₃	Turbio velocidad lenta en la sedimentación.
R ₄	Turbio velocidad media de sedimentación.

Fuente: Elaboración propia.

Las características visuales en el sobrenadante con el sulfato de aluminio y cloruro férrico son transparentes mientras que con los floculantes se presentan turbio. La velocidad de sedimentación de la muestra es rápida con el alumbre como también con cloruro férrico lo contrario ocurre con los floculantes. Todos estos resultados están en base a la eficiencia, la turbiedad y pH de la muestra cuyas gráficas se tienen en las figuras 19 y 20 para mejor análisis de resultados.

Figura 20 Comportamiento de la turbiedad frente a los resultados óptimos.



Fuente: Elaboración propia.

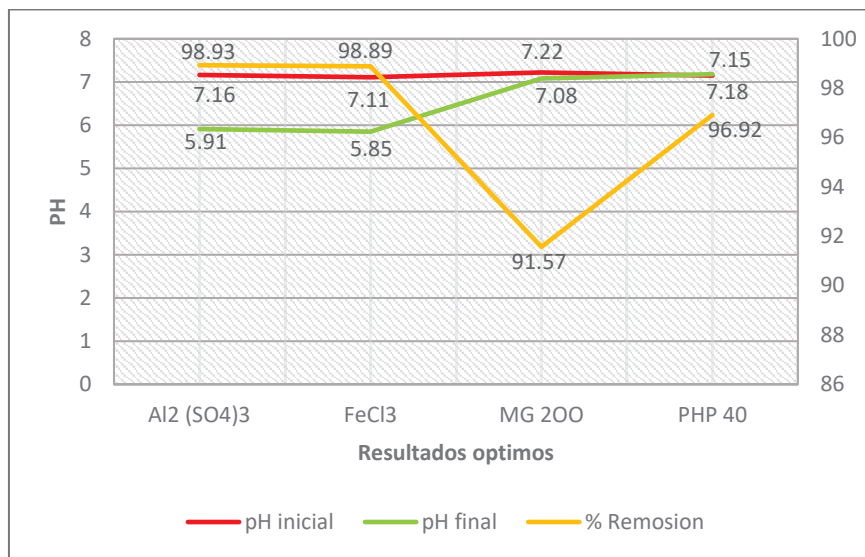
En la figura 19 podemos observar que al comparar los resultados de las dosis óptimas de cada reactivo se presenta un buen comportamiento en la remoción de turbiedad.

El sulfato de aluminio y el cloruro férrico, causan mayor efecto en la muestra, lo contrario ocurre con los floculantes y de acuerdo al porcentaje de remoción se escogió el mejor coagulante y el orden según este porcentaje de eficiencia seria:

1. Alumbre
2. Cloruro férrico
3. PHP-40
4. MG-200

Estos resultados demuestran que los coagulantes son más eficientes que los floculantes, el alumbre como mejor coagulante y como mejor floculante al PHP- 40 de acuerdo a la remoción de turbiedad.

Figura 21 Comportamiento del pH frente a los resultados óptimos.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 20 el pH y las dosis de coagulante más eficientes no se encuentra dentro del rango óptimo aplicada por las normas legales, esto nos indica que las sales de hierro y aluminio modifican el pH de las muestras, haciendo necesario la corrección de este parámetro para favorecer la coagulación.

Los floculantes con sus dosis óptimas no alteran el pH y el orden en la escala neutral sería como sigue:

1. PHP-40
2. MG-200
3. Alumbre
4. Cloruro férrico.

De acuerdo al pH se escogió al PHP- 40 como mejor reactivo porque la variación que presenta después del tratamiento en el valor de pH inicial y final es mínima.

En la figura 20 también se verifica el comportamiento de los coagulantes donde claramente se observó a menor pH mayor eficiencia de remoción de turbiedad.

A continuación, presentamos en la tabla 26 un resumen de la selección de resultados más óptimos utilizando coagulantes y floculantes, operación que se ejecutó con el equipo de test de jarras de forma experimental en el laboratorio.

Tabla 26 Resumen de los resultados óptimos en la selección de coagulantes y floculantes

R	Reactivo	Dosis [ml]	Dosis [mg/L]	C [g/L]	pH inicial	pH final	Turbidez inicial [NTU]	Turbidez final [NTU]	Remoción [%]
R ₁	Al ₂ (SO ₄) ₃	4	16	2	7.16	5.91	3893	41.58	98.93
R ₂	FeCl ₃	6	24	2	7.11	5.85	3917	43.54	98.89
R ₃	MG-200	10	10	0.5	7.22	7.08	3882	327	91.57
R ₄	PHP-40	1	1	0.5	7.15	7.18	3901	120	96.92

Fuente: Elaboración propia

Los ensayos 4 y 29 resultaron seleccionados como dosis optimas de coagulante y floculante se aplicó 4 ml y 1 ml por cada jarra lo que es equivalente a 16 mg/L y 1 mg/L son datos obtenidos experimentalmente por test de jarras, se muestran en la tabla 27

Tabla 27 Reactivos seleccionados

REACTIVOS		Dosis	Turbidez final	pH final
Coagulante	Sulfato de aluminio	16 mg/L	41.58 NTU	5.91
Floculante	Flopam PHP 40	1 mg/L	120 NTU	7.18

Fuente: Elaboración propia

Se observó que los resultados obtenidos en los ensayos 4 y 29 fueron óptimos para el coagulante

y floculante, podemos concluir que no se encuentran dentro de los valores permisibles por la norma.

4.3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COAGULACION – FLOCULACION.

Después de la primera experiencia en la selección de coagulante y floculante que se indican en la tabla 27 se comprueba que el resultado óptimo obtenido para el coagulante requiere de ajuste del pH, es aquí donde el regulador de pH interviene en la nueva **serie de pruebas**, con el equipo de test de jarras, controlando la turbiedad, pH y otras variables que intervienen obteniendo los parámetros más óptimos para clarificar el agua turbia en Empresa Minera Aurífera TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. dentro del rango que atribuyen las normas legales nacionales.

La concentración y dosis del regulador de pH adecuado para el experimento se obtuvo por ensayos preliminares para el caso 3.333 g/L de concentración y 3 ml de dosificación.

Con los reactivos seleccionados de coagulante, floculante y el auxiliar de coagulación que ya intervino en los experimentos para el tratamiento de aguas turbias, de aquí en adelante son tres estas variables que determinaron las dosis más óptimas, las tres variables que se requiere para nuestro diseño experimental propuesto en la metodología.

4.3.1. Comportamiento del coagulante en la primera serie.

Modificando el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ se muestra en la tabla 28 y 29

Tabla 28 Resultados de la primera serie de pruebas.

Concentración de reactivo (g/L)	Dosificación (ml)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Al ₂ (SO ₄) ₃	3	3.5	4	4.5	5
CaO	3	3	3	3	3
PHP-40	1	1	1	1	1
Velocidad de sedimentación	1	1.7	2.5	2	2.3
Clarificación total	si	si	si	si	si
Turbiedad	18.88	15.36	12.28	16.03	13.11
pH	6.93	6.88	6.45	6.09	5.97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Resultados de turbiedad, pH y eficiencia de la primera serie.

Turbiedad (NTU)	pH	Dosificación de "Al ₂ (SO ₄) ₃ + CaO + PHP- 40"									
		Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5	
		pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU
3893	7.16										
3896	7.18	6.93	18.88								
3909	7.15			6.88	15.36						
3901	7.16					6.45	12.28				
3887	7.14							6.09	16.03		
3923	7.22									5.97	13.11
(%) Remoción		99.51		99.61		99.68		99.59		99.66	

Fuente: Elaboración propia

a). - Cálculo del (%) remoción de turbiedad en la primera serie.

Para cada jarra se calcula aplicando la ecuación 1:

$$(\%) \text{ Remoción}_1 = \frac{3896(\text{NTU}) - 18.88(\text{NTU})}{3896(\text{NTU})} \times 100 = 99.51\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_2 = \frac{3909(\text{NTU}) - 15.36(\text{NTU})}{3909(\text{NTU})} \times 100 = 99.61\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_3 = \frac{3901(\text{NTU}) - 12.28(\text{NTU})}{3901(\text{NTU})} \times 100 = 99.68\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_4 = \frac{3887(\text{NTU}) - 15.93(\text{NTU})}{3887(\text{NTU})} \times 100 = 99.59\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_5 = \frac{3923(\text{NTU}) - 13.11(\text{NTU})}{3923(\text{NTU})} \times 100 = 99.66\%$$

b). - Calculo de la dosis de reactivos en mg/L para la primera serie.

Para cada jarra la dosis se calcula con la ecuación 2:

Al₂(SO₄)₃:

$$C_1 = 2000 \text{ mg/L} \times \frac{3 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 12 \text{ mg/L} = 12 \text{ ppm}$$

$$C_2 = 2000 \text{ mg/L} \times \frac{3.5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 14 \text{ mg/L} = 14 \text{ ppm}$$

$$C_3 = 500 \text{ mg/L} \times \frac{4 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 16 \text{ mg/L} = 16 \text{ ppm}$$

$$C_4 = 500 \text{ mg/L} \times \frac{4.5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 18 \text{ mg/L} = 18 \text{ ppm}$$

$$C_5 = 2000 \text{ mg/L} \times \frac{5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 20 \text{ mg/L} = 20 \text{ ppm}$$

CaO:

$$C = 3333.333 \text{ mg/L} \times \frac{7 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 20 \text{ mg/L} = 20 \text{ ppm}$$

FLOPAM PHP- 40:

$$C = 500 \text{ mg/L} \times \frac{1 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 1 \text{ mg/L} = 1 \text{ ppm.}$$

Para esta primera serie de pruebas la dosis de sulfato de aluminio que resulto en la mejor combinación es cuando se agrega a la jarra 16 mg/L = 16 ppm o un equivalente a 4 ml como se presenta a continuación.

c). - Resultados óptimos de la primera serie de pruebas.

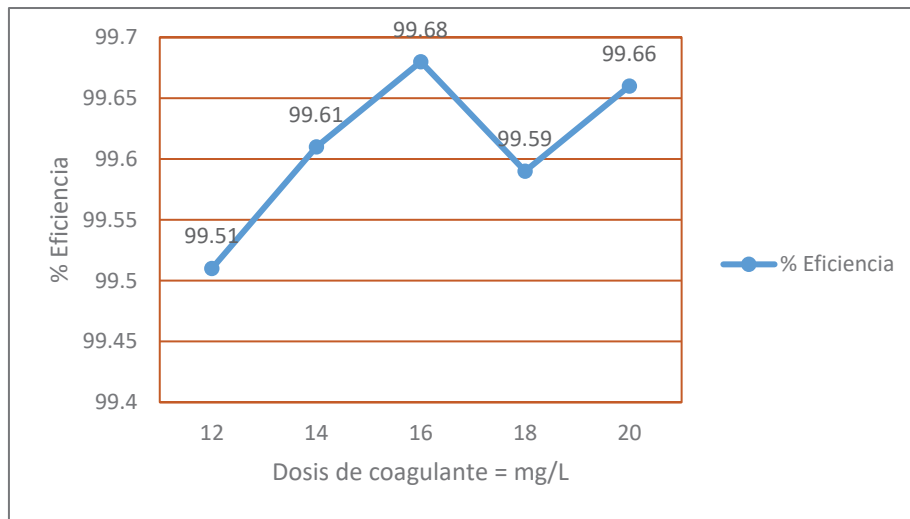
Se muestra en la tabla 30.

Tabla 30 Resultados de la primera serie de pruebas.

Reactivo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Sulfato de aluminio	12 ppm	14 ppm	16 ppm	18 ppm	20 ppm
Cal	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm
Flopam PHP 40	1 ppm	1 ppm	1 ppm	1 ppm	1 ppm

Fuente: Elaboración propia.

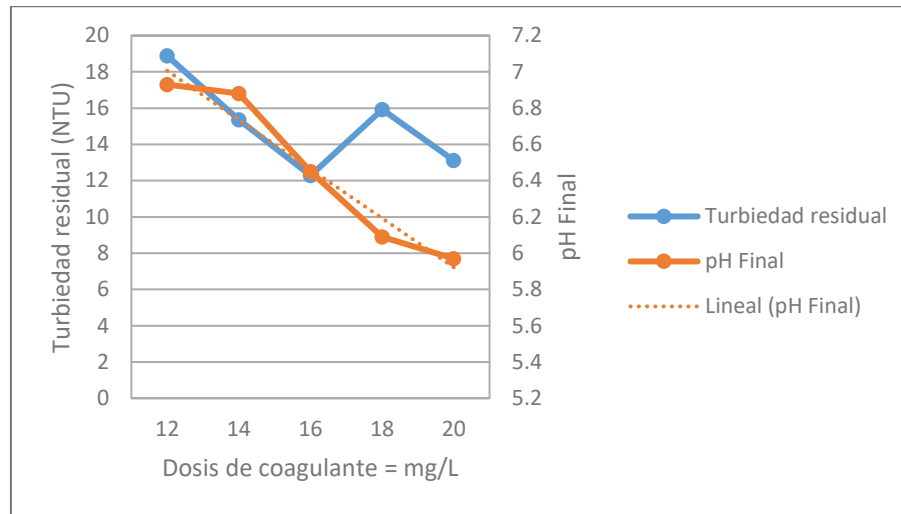
Figura 22 Comportamiento del % remoción frente a la dosis de coagulante



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 21 se observa que con una dosis de 16 mg/L es más eficiente la remoción de la turbiedad de la combinación de reactivos de esta primera serie de pruebas.

Figura 23 Comportamiento de la turbiedad residual y el pH resultante frente a la dosis de coagulante



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 22 en la prueba 3 se observa para el valor de pH final 6.45 en la primera serie se obtiene mejor turbiedad residual lo que equivale a 16 mg/L.

4.3.2. Comportamiento del regulador de pH en la segunda serie:

Modificando el CaO se muestran en las tablas 31 y 32

Tabla 31 Resultados de la segunda serie de pruebas.

Concentración de reactivo (g/L)	Dosificación (ml)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Al ₂ (SO ₄) ₃	4	4	4	4	4
CaO	2	2.5	3	3.5	4
PHP-40	1	1	1	1	1
Velocidad de sedimentación	1	1.7	2.5	2	2.3
Clarificación total	si	si	si	si	si
Turbiedad	13.28	12.07	11.71	12.35	14.76
pH	6.05	6.22	6.38	6.64	7.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Resultados de turbiedad y pH de la segunda serie.

Turbiedad (NTU)	pH	Dosificación de "Al ₂ (SO ₄) ₃ + CaO + PHP- 40"									
		Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5	
		pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU
3893	7.16										
3895	7.17	6.05	13.28								
3919	7.25			6.22	12.07						
3913	7.21					6.38	11.71				
3891	7.16							6.64	12.35		
3897	7.23									7.05	14.76
(%) Remoción		99.66		99.69		99.70		99.68		99.62	

Fuente: Elaboración propia.

a). - Calculo del (%) remoción de turbiedad en la segunda serie.

Para cada jarra se calcula aplicando la ecuación 1:

$$(\%) \text{ Remoción}_1 = \frac{3895(\text{NTU}) - 13.28(\text{NTU})}{3895(\text{NTU})} \times 100 = 99.66\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_2 = \frac{3919(\text{NTU}) - 12.07(\text{NTU})}{3919(\text{NTU})} \times 100 = 99.69\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_3 = \frac{3913(\text{NTU}) - 11.71(\text{NTU})}{3913(\text{NTU})} \times 100 = 99.70\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_4 = \frac{3891(\text{NTU}) - 12.35(\text{NTU})}{3891(\text{NTU})} \times 100 = 99.68\%$$

$$(\%) \text{ Remoción}_5 = \frac{3897(\text{NTU}) - 14.76(\text{NTU})}{3897(\text{NTU})} \times 100 = 99.62\%$$

b). - Calculo de la dosis de reactivos en mg/L para la segunda serie.

Para cada jarra la dosis se calcula aplicando la ecuación 2:

Al₂(SO₄)₃:

$$C = 2000 \text{ mg/L} \times \frac{4 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 16 \text{ mg/L} = 16 \text{ ppm}$$

CaO:

$$C_1 = 3333.333 \text{ mg/L} \times \frac{2 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 13.33 \text{ mg/L} = 13.33 \text{ ppm}$$

$$C_2 = 3333.333 \text{ mg/L} \times \frac{2.5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 16.67 \text{ mg/L} = 16.67 \text{ ppm}$$

$$C_3 = 3333.333 \text{ mg/L} \times \frac{3 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 20 \text{ mg/L} = 20 \text{ ppm}$$

$$C_3 = 3333.333 \text{ mg/L} \times \frac{3.5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 23.33 \text{ mg/L} = 23.33 \text{ ppm}$$

$$C_5 = 3333.333 \text{ mg/L} \times \frac{4 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 26.67 \text{ mg/L} = 26.67 \text{ ppm}$$

FLOPAM PHP- 40:

$$C = 500 \text{ mg/L} \times \frac{1 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 1 \text{ mg/L} = 1 \text{ ppm}$$

c). - Resultados óptimos de la segunda serie de pruebas.

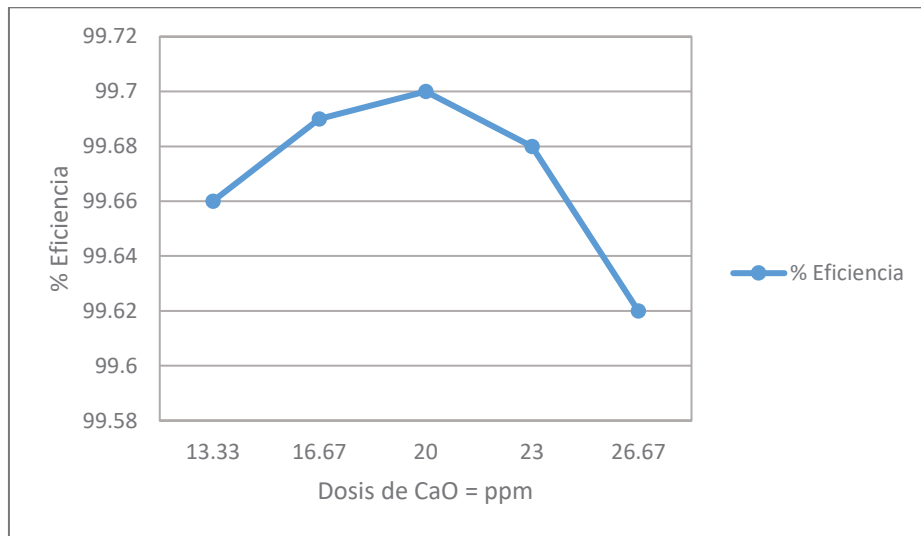
Para esta segunda serie de pruebas la dosis del regulador de pH que resulto en la mejor combinación es cuando se agrega a la jarra 20 mg/L = 20 ppm o un equivalente a 3 ml como se observa en la tabla 33

Tabla 33 Resultados de la segunda serie de pruebas

Reactivo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Sulfato de aluminio	16 ppm	16 ppm	16 ppm	16 ppm	16 ppm
Regulador de pH	13.33 ppm	16.67 ppm	20 ppm	23.33 ppm	26.67 ppm
Flopam PHP 40	1 ppm	1 ppm	1 ppm	1 ppm	1 ppm

Fuente: Elaboración propia.

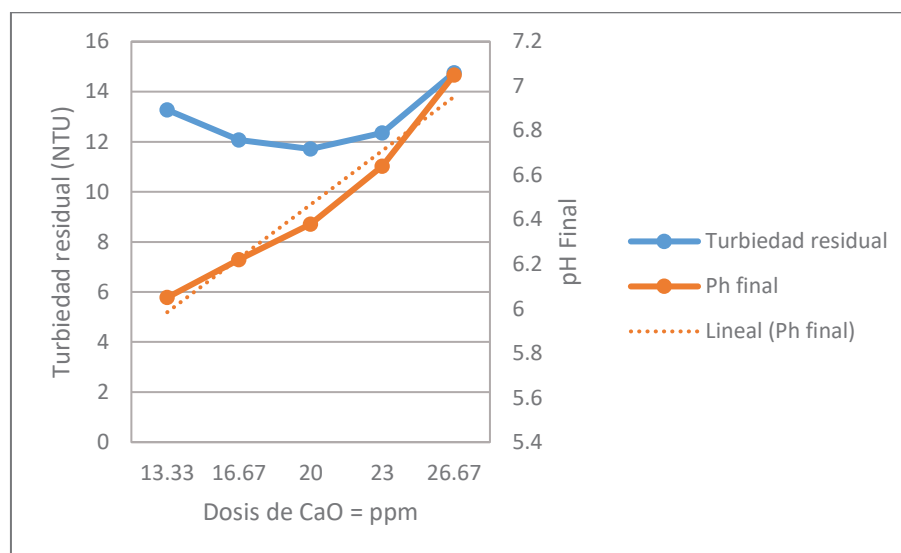
Figura 24 Comportamiento del % remoción frente a la dosis del regulador de pH.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 alcanza el mayor %E en la remoción de turbiedad cuando la dosis del regulador de pH es de 20 mg/L.

Figura 25 Comportamiento de la turbiedad residual y el pH resultante frente a la dosis del auxiliar de coagulante



Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Comportamiento del floculante en la tercera serie.

Modificando el FLOPAM PHP 40 se muestran en las tablas 34 y 35

Tabla 34 Resultados generales de la tercera serie.

Concentración de reactivo (g/L)	Dosificación (ml)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Al ₂ (SO ₄) ₃	4	4	4	4	4
CaO	3	3	3	3	3
PHP-40	0.5	1	1.5	2	2.5
Velocidad de sedimentación	0.5	2	3	1.5	1
Clarificación total	si	si	si	si	si
Turbiedad	12.18	11.68	6.07	7.13	9.03
pH	6.45	6.88	7.21	7.29	7.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35 Resultados de turbiedad y pH de la tercera serie.

Turbiedad (NTU)	pH	Dosificación de "Al ₂ (SO ₄) ₃ + CaO + PHP- 40"									
		Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5	
		pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU
3893	7.16										
3929	7.17	6.45	12.18								
3909	7.23			6.88	11.68						
3891	7.27					7.21	6.07				
3887	7.16							7.29	7.13		
3911	7.24									7.45	9.03
(%) Remoción		99.68		99.70		99.84		99.81		99.76	

Fuente: Elaboración propia.

a). - Calculo del (%) remoción de turbiedad en la tercera serie.

Para cada jarra se calcula aplicando la ecuación 1:

$$(\%) \text{ Eficiencia}_1 = \frac{3929(\text{NTU}) - 12.18(\text{NTU})}{3929(\text{NTU})} \times 100 = 99.68\%$$

$$(\%) \text{ Eficiencia}_2 = \frac{3909(\text{NTU}) - 11.68(\text{NTU})}{3909(\text{NTU})} \times 100 = 99.70\%$$

$$(\%) \text{ Eficiencia}_3 = \frac{3891(\text{NTU}) - 6.07(\text{NTU})}{3891(\text{NTU})} \times 100 = 99.84\%$$

$$(\%) \text{ Eficiencia}_4 = \frac{3887(\text{NTU}) - 7.13(\text{NTU})}{3887(\text{NTU})} \times 100 = 99.81\%$$

$$(\%) \text{ Eficiencia}_5 = \frac{3911(\text{NTU}) - 9.03(\text{NTU})}{3911(\text{NTU})} \times 100 = 99.76\%$$

b). - Calculo de la dosis de reactivos en mg/L para la tercera serie.

Para cada jarra la dosis se calcula aplicando la ecuación 2:

Al₂(SO₄)₃:

$$C = 2000 \text{ mg/L} \times \frac{4 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 16 \text{ mg/L} = 16 \text{ ppm}$$

CaO:

$$C = 3333.333 \text{ mg/L} \times \frac{3 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 20 \text{ mg/L} = 20 \text{ ppm}$$

FLOPAM PHP- 40:

$$C_1 = 500 \text{ mg/L} \times \frac{0.5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 0.5 \text{ mg/L} = 0.5 \text{ ppm}$$

$$C_2 = 500 \text{ mg/L} \times \frac{1 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 1 \text{ mg/L} = 1 \text{ ppm}$$

$$C_3 = 500 \text{ mg/L} \times \frac{1.5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 1.5 \text{ mg/L} = 1.5 \text{ ppm}$$

$$C_4 = 500 \text{ mg/L} \times \frac{2 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 2 \text{ mg/L} = 2 \text{ ppm}$$

$$C_5 = 500 \text{ mg/L} \times \frac{2.5 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} = 2.5 \text{ mg/L} = 2.5 \text{ ppm}$$

Para esta tercera serie de pruebas la dosis del floculante que resulto en la mejor combinación es cuando se agrega a la jarra $1.5 \text{ mg/L} = 1.5 \text{ ppm}$ o un equivalente a 1.5 ml como se observa en la tabla 36

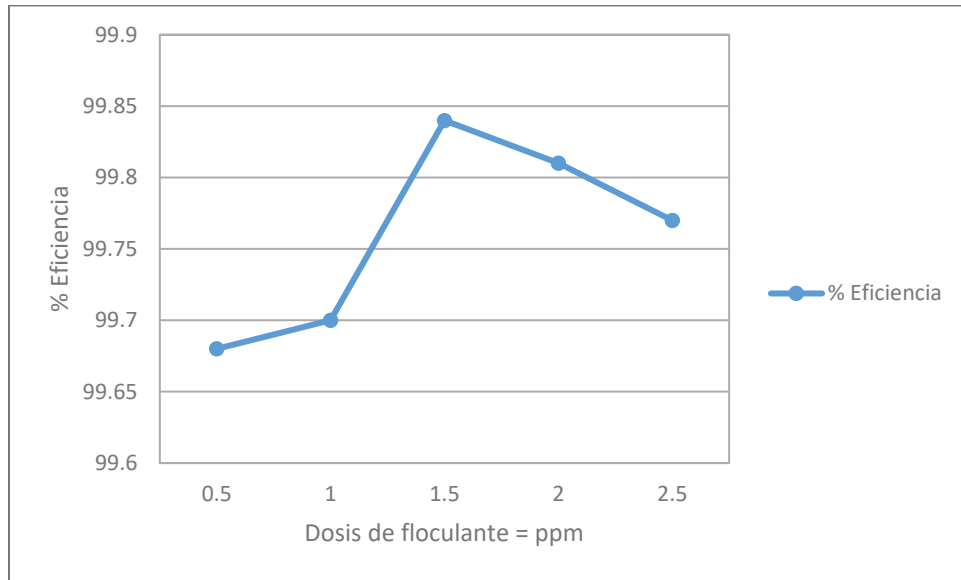
c). - Resultados óptimos de la tercera serie de pruebas

Tabla 36 Resultados de la tercera serie de pruebas.

Reactivo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Sulfato de aluminio	16 ppm	16 ppm	16 ppm	16 ppm	20 ppm
Cal	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm
Floculante	0.5 ppm	1 ppm	1.5 ppm	2 ppm	2.5 ppm

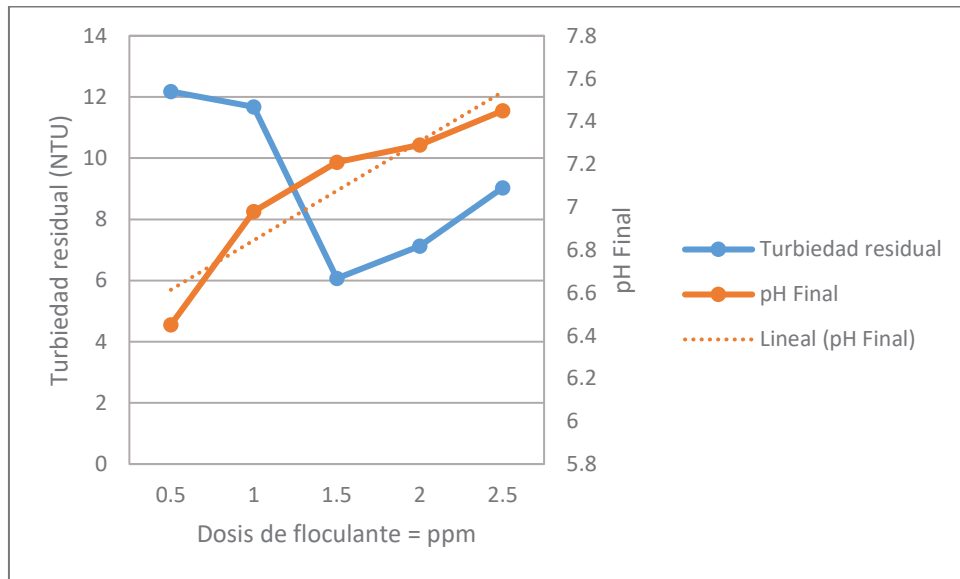
Fuente: Elaboración propia

Figura 26 Comportamiento del % remoción frente a la dosis de floculante



Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Comportamiento de la turbiedad residual y el pH resultante frente a la dosis de floculante.



Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Resultados generales de la serie de pruebas que se realizó.

De estas 3 series de pruebas se tiene como conclusión que la mejor combinación resultado de estos experimentos modificando cada componente es como se muestra en la tabla 37

Tabla 37 Mejores resultados obtenidos del proceso de coagulación- floculación.

REACTIVOS		Dosis		Turbidez final	pH final
Coagulante	Sulfato de aluminio	4 ml	16 mg/L		
Floculante	Flopam PHP 40	1.5 ml	1.5 mg/L	6.07 NTU	7.21
Regulador de pH	Cal	3 ml	20 mg/L		

Fuente: Elaboración propia

4.4.RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para el experimento se usó un diseño de 2 niveles, con 3 factores, con 3 réplicas centrales y consta de 8 combinaciones más 3 repeticiones en el punto central haciendo un total de 11 corridas experimentales. Geométricamente el diseño es un cubo, cuyas esquinas son las 8 combinaciones. Este diseño permitió obtener los 3 efectos principales (A, B, y C), las tres interacciones de dos factores (AB, AC, BC) y la interacción de los tres factores (ABC). Para tal efecto se utilizó el programa estadístico Statgraphics. Y determino los parámetros adecuados del proceso.

4.4.1. Objetivo del experimento.

El objetivo del experimento es evaluar el comportamiento de las variables independientes, utilizados en el tratamiento de aguas turbias en la Unidad Minera Metálica “**8 de diciembre Uno**” en la zona de operaciones que pertenecen a TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L.

La elección de estas variables y niveles en la tabla 38 fue como resultado de la determinación de las mejores dosis de los reactivos, con el fin de lograr los mejores resultados.

Tabla 38 Variables y niveles del proceso

VARIABLES		NIVELES	
		(-)	(+)
A	Dosis del coagulante (ml)	3	5
B	Dosis del floculante (ml)	0.5	2.5
C	Dosis del regulador de pH (ml)	2	4

Fuente: Elaboración propia

Clarificación el agua se expresa en turbiedad residual, se realizó con el equipo de Test de Jarras se hicieron 8 corridas con 3 puntos medios,

4.4.2. Variable en escala natural y codificada con replicas en el centro para la turbiedad.

A continuación, se procedió a construir la planificación del diseño experimental en la tabla 39 (con una sola prueba en los extremos y tres replicas en el punto central), el cual indica los valores de las variables en escala natural (Z_j) y la variable en escala codificada (X_j) siendo la turbiedad residual (Y). Los efectos producidos por estas variables se tienen en la figura 27

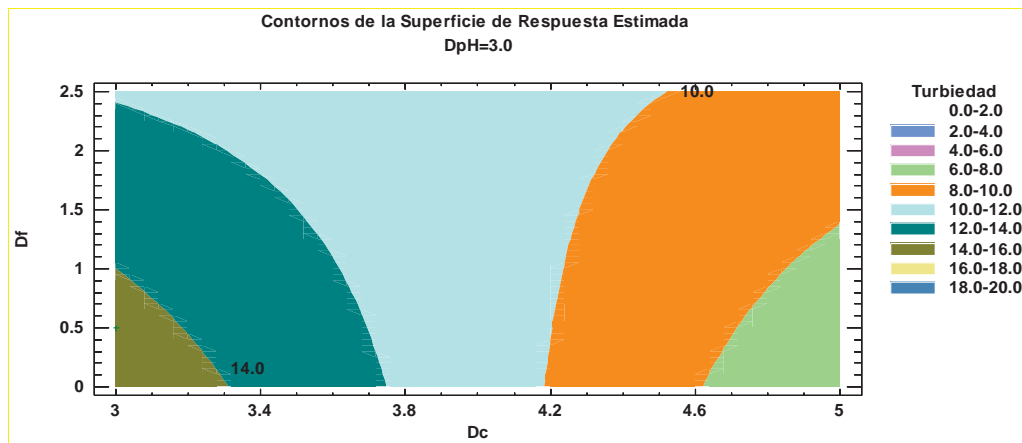
Tabla 39 Plan experimental

N° Pruebas	Escala Codificada (Zj)			Escala Natural (Xj)			Respuesta (Y)	pH
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	D.c [ml]	D.f [ml]	D.R.Ph [ml]	Turbiedad residual NTU	
1	-1	-1	-1	3	0.5	2	11.45	5.95
2	1	-1	-1	5	0.5	2	5.23	5.93
3	-1	1	-1	3	2.5	2	10.10	6.22
4	1	1	-1	5	2.5	2	8.54	5.11
5	-1	-1	1	3	0.5	4	18.86	7.18
6	1	-1	1	5	0.5	4	9.43	6.42
7	-1	1	1	3	2.5	4	14.5	6.74
8	1	1	1	5	2.5	4	11.16	6.65
9	0	0	0	4	1.5	3	10.80	6.58
10	0	0	0	4	1.5	3	8.11	6.72
11	0	0	0	4	1.5	3	9.79	6.66

Fuente: Elaboración propia.

Promedio general Y = 10.7245

Figura 28 Contornos de la superficie de respuesta estimada



Fuente: Elaboración propia

Dentro del rango de las variables más los 3 puntos centrales de la tabla 39 utilizados en el experimento se observa que la turbiedad residual sufre un cambio de (5.23 a 18.86) NTU mientras el pH cambia de 5.11 a 7.18 dentro de los cuales el experimento N° 10 es el mejor resultado porque se encuentra dentro del rango aplicado por la norma con valores de turbiedad 8.11 NTU y 6.72 de pH.

De acuerdo a los resultados se puede ver que cuando se trabaja con una alta dosis de coagulante y una baja dosis de floculante más la dosis central del regulador de pH se obtienen buenos resultados.

La figura 27 está mostrando todos los resultados de los experimentos, la figura muestra por áreas de color donde se encuentran la menor y mayor turbiedad se puede observar en la leyenda vertical, que el color plomo representa la menor turbiedad que no se observa en la figura por ser muy pequeña esta área, luego viene el color azul, viene el color lila, que también son pequeñas áreas y no se pudo observar en el gráfico hasta que aparece el color verde que representa la región donde se encuentran las turbiedades más bajas.

Esta figura indica el área de trabajo para una dosificación adecuada de la muestra, para el experimento se requiere trabajar a mayor dosis de coagulante a menor dosis de floculante para que nos de baja turbiedad

4.4.3. Cálculo de los efectos estimados para el porcentaje de remoción de turbiedad.

Para realizar el cálculo de los efectos estimados se realiza matricialmente, el cual es práctico especialmente cuando se trabaja en software Statgraphics, o cualquier lenguaje de programación. Operando por la matriz transpuesta se obtiene el efecto (ver tabla N° 40)

Tabla 40 Efectos estimados para Turbiedad residual (NTU)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	10.7245	0.409704	
A:Dc	-5.1375	0.960842	1.0
B:Df	-0.1675	0.960842	1.0
C::RpH	4.6575	0.960842	1.0
AB	2.6875	0.960842	1.0
AC	-1.2475	0.960842	1.0
BC	-1.1475	0.960842	1.0

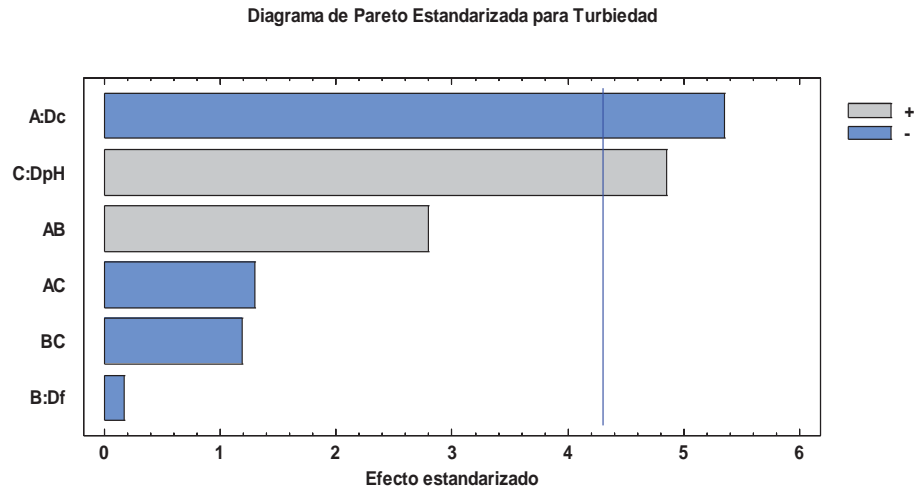
Errores estándar basados en el error puro con 2 g.l.

Fuente: Elaboración propia

El significado del cálculo de los efectos estimados es observar como varia la respuesta al interactuar una variable de su nivel inferior a su nivel superior. Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia se selecciona el diagrama de Pareto. En las figuras 28 y 29 se muestran los efectos principales para la turbiedad.

Figura 29 Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de Pareto nos muestra la interacción de cada uno de los elementos:

Las siguientes observaciones se deducen de los efectos estimados según diagrama de Pareto:

- El efecto de la interacción AB, dosis de coagulante (A) y dosis del floculante (B) (+) son variables no significativas en la remoción de turbiedad teniendo un efecto estimado positivo de 2.6875.
- El efecto de la variable “A” es importante por el incremento de la dosis de coagulante de 3 ml a 5 ml teniendo un efecto estimado de -5.1375 lo que indica que es una variable significativa.
- El efecto de la interacción “AC” dosis de coagulante (A) y dosis del regulador de pH (C) (-) las interacciones de estas variables no son significativas para la remoción de la turbiedad.
- El efecto de la variable “B” dosis de floculante, no tiene mayor relevancia puesto que tiene valores negativos y no se encuentra dentro de la línea de significancia.

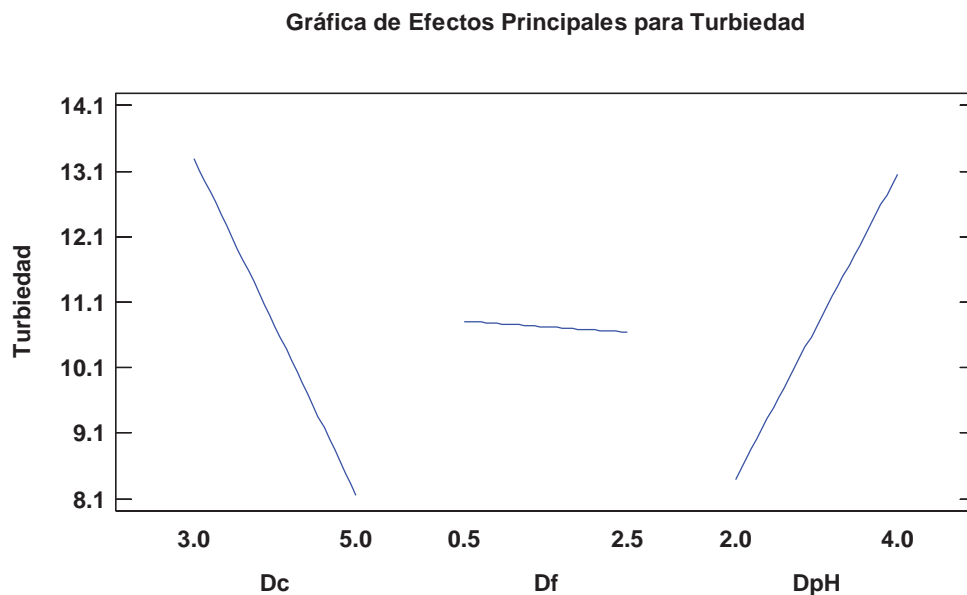
- El efecto de las interacciones “BC” dosis de floculante (B) y dosis del regulador de pH (C) no tienen influencia significativa en la remoción de la turbiedad.
- El efecto de la interacción “ABC” para el diseño no se considera por tener un resultado negativo, según tabla 4.26.

En el diagrama de Pareto tiene una línea vertical, esta línea nos indica que las variables mayores a la línea son variables significativas y tienen un 95% de confianza.

Si los efectos estimados son negativos disminuye en promedio la turbiedad y si los efectos estimados son positivos aumenta en promedio la turbiedad.

En las siguientes figuras 28 y 29 se representan los efectos individuales y la interacción de estas variables.

Figura 30 Efectos principales para turbiedad.



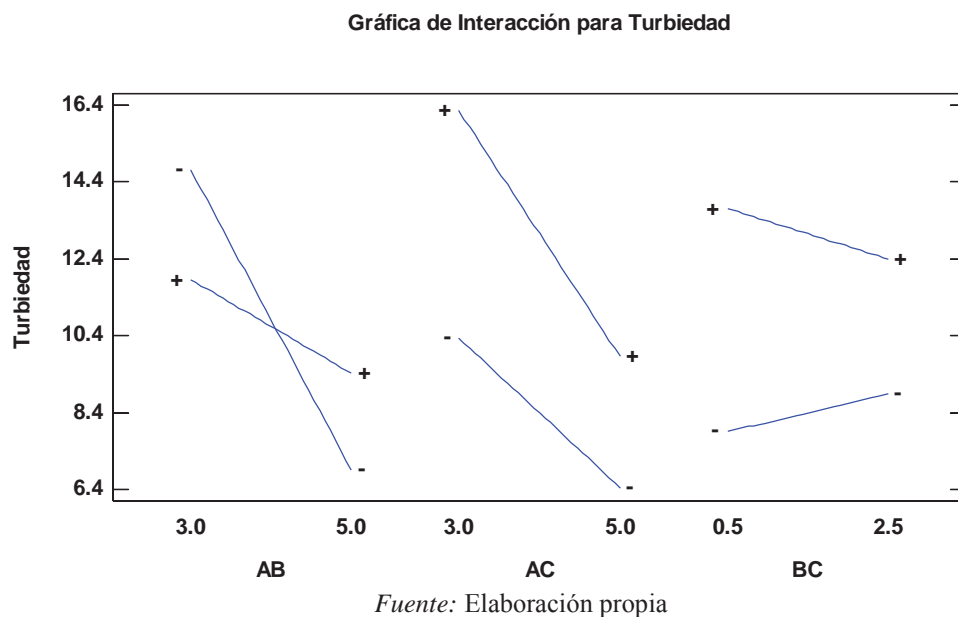
Fuente: Elaboracion propia.

La grafica 29 de efectos principales para la turbiedad residual se interpretan así:

La turbiedad residual versus las tres variables a tratar Dc (dosis de coagulante), Df (dosis de floculante), y DpH (dosis del regulador de pH).

- Se observa que la relación entre turbiedad residual vs Dc, cuando la dosis de coagulante aumenta de 3ml a 5 ml la turbiedad disminuye esta es la variable más influyente porque reduce la turbiedad, esto propiamente dicho la turbiedad de 13.1 NTU a 8.1 NTU.
- La relación entre la turbiedad residual vs Df, cuando la dosis de floculante aumenta de 0.5 ml a 2.5 ml la turbiedad tiene un cambio mínimo no influye en la remoción de la turbiedad.
- Por último, en la tercera relación de turbiedad residual vs DpH, es la variable menos influyente en la remoción de la turbiedad va de una dosificación de 2 ml a 4 ml y la turbiedad aumenta progresivamente de 8.5 NTU a 13 NTU

Figura 31 *Interacción de variables.*



La grafica 30 de interacción de las variables para la turbiedad residual se interpreta así:

La interacción AB a simple vista se puede determinar que la relación entre A (dosis de coagulante) y B (dosis de floculante) son las únicas que generan interacción entre sí, esto nos da a entender que son las variables influyentes en la remoción de la turbiedad.

En relación AC se observa ninguna interacción, A (dosis de coagulante) y C (dosis del regulador de pH) de igual forma se observa que no hay interacción para la relación BC. Por lo tanto, no son variables determinantes ni influyentes para una efectiva remoción de la turbiedad.

4.4.4. Análisis de varianza del diseño factorial para la turbiedad.

En esta tabla se analizan los efectos e interacciones de las variables por diferentes pruebas estadísticas como se tiene en la tabla 41.

Tabla 41 *Tabla ANOVA*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dc	52.7878	1	52.7878	28.59	0.0332
B:Df	0.0561125	1	0.0561125	0.03	0.8777
C:RpH	43.3846	1	43.3846	23.50	0.0400
AB	14.4453	1	14.4453	7.82	0.1076
AC	3.11251	1	3.11251	1.69	0.3237
BC	2.63351	1	2.63351	1.43	0.3548
Falta de ajuste	5.78593	2	2.89297	1.57	0.3896
Error puro	3.69287	2	1.84643		
Total (corr.)	125.899	10			

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación estadística de la tabla ANOVA.

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Turbiedad en piezas separadas para cada uno de los efectos de las variables estudiadas, donde la importancia del efecto de las variables independientes es la variable respuesta, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto

comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

Directamente el statgrapichs te analiza con el valor-P y te dice cuando este valor es inferior a 0.05 con un 95% de significancia entonces la variable es significativa por eso nos señala con rojo entonces el coagulante y el regulador de pH son las variables significativas cuyo cambio de valor alto a bajo influye en el cambio de turbiedad en cambio esta cuando cambia de nivel bajo a alto casi el resultado es el mismo.

La tabla ANOVA evalúa la variabilidad que hay en el resultado y el efecto que tiene cada variable en la turbiedad.

Dado que el valor-P para la falta de ajuste en la tabla ANOVA es mayor que 0.05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados al nivel de confianza del 95.0%.

4.4.5. Modelo matemático para turbiedad

Considerando que los coeficientes de regresión para la turbiedad están en la tabla 42.

Tabla 42 *Coefficiente de regresión para Turbiedad*

Coeficiente	Estimado
constante	12.1345
A:Dc	-2.71312
B:Df	-3.7375
C:DpH	5.68438
AB	1.34375
AC	-0.62375
BC	-0.57375

Fuente: Elaboración propia

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Turbiedad} = 12.1345 - 2.71312 \cdot D_c - 3.7375 \cdot D_f + 5.68438 \cdot D_{pH} + 1.34375 \cdot D_c \cdot D_f - 0.62375 \cdot D_c \cdot D_{pH} - 0.57375 \cdot D_f \cdot D_{pH}$$

$$R^2 = 92.4711 \%$$

Interpretación de resultados.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 92.4711% de la variabilidad en Turbiedad

4.5.DEMOSTRAR LOS VALORES LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES

En el trabajo de investigación desarrollado, los resultados están focalizados en los parámetros de sólidos suspendidos, turbiedad y pH que la norma vigente regula para efluentes líquidos descargados de actividades minero – metalúrgicos.

Motivo por el cual se hizo un análisis gravimétrico al mejor resultado obtenido experimentalmente del proceso de coagulación- floculación cuyo mejor resultado se encuentra en la tabla 37 de este capítulo que obtuvo una turbiedad de 6.07 NTU y un pH de 7.21 a esta muestra tratada fisicoquímicamente se le determino los sólidos, suspendidos, los resultados se exponen en la tabla 43 el resultado de esta tabla se compara en la tabla 43.

Tabla 43 *Sólidos finales después del tratamiento*

Capsula	Volumen Muestra [ml]	Peso Vacío [g]	Peso seco [g]	Sólidos totales [mg/L]	Sólidos suspendidos [mg/L]
Totales (3)	50 ml	40.521	40.539	360	20
Disueltos (4)	50 ml	39.662	39.679	340	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 44 se comparan los resultados obtenidos de carácter puntual.

Tabla 44 Comparación de parámetros finales.

Parámetro	Unidad	LMP según la norma	Experimentalmente	Informe de laboratorio
SST	mg/L	50	20	0.60
Turbiedad	NTU		6.07	0.82
pH		6 - 9	7.21	7.45

Fuente: Elaboración propia.

Esta muestra clarificada también se caracterizó por los servicios de laboratorio de análisis fisicoquímico de la UNSAAC. Los datos de informe de laboratorio se obtuvieron del (anexo 5) informe de análisis N° 0657-17-LAQ para comparar los resultados obtenidos.

En la tabla 44 claramente se puede observar al comparar los resultados, que estos resultados se encuentran dentro del rango que regula la norma y podemos afirmar:

Queda demostrado que los resultados obtenidos del tratamiento fisicoquímico de aguas turbias de la minera aurífera Tunquimyo Mining cumple con los valores límites máximos permisibles que aplica la norma el Decreto Supremo N° 010-2010- MINAM.

CONCLUSIONES

- Se obtuvo agua clarificada de acuerdo a los parámetros establecidas por la norma. En base a los reactivos utilizados queda demostrado que el tratamiento fisicoquímico es una opción técnicamente factible y acertada para la clarificación de los efluentes líquidos descargados de la Minera Aurífera Tunquimayo Mining EIRL
- Las características de los efluentes líquidos descargados por la Empresa Minera Aurífera TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. tiene un aspecto terroso, turbio de color marrón se determinó la muestra que tienen un alto contenido de sólidos suspendidos con una concentración de 2360 mg/L un pH de 7.16 casi neutro y una alta turbidez de 3893 NTU, no presento grasas y ningún olor característico.
- Se utilizó el equipo de test de jarras para realizar pruebas experimentales a nivel de laboratorio usando los reactivos seleccionados con diferentes dosis para obtener los mejores resultados, el test de jarras permitió determinar la dosis óptima de coagulante, floculante y el pH óptimo del proceso de clarificación del agua.
- Se determinó las condiciones de operación para las pruebas fisicoquímicas en el proceso de clarificación del agua logrando lo siguiente:
 - Agitación rápida de 200 rpm para 1 minuto.
 - Agitación lenta de 40 rpm para 5 minutos.
 - Tiempo de sedimentación en 20 minutos.
 - Concentración 2000 mg/L y dosis 24 mg/L en la selección del coagulante.
 - Concentración 500 mg/L y dosis 1 mg/L en la selección del floculante.
 - Concentración 3333.333 mg/L y para el regulador de pH.

Control pH fuera del rango establecido por la norma.

Concentración 2000 mg/L y dosis 16 mg/L en la optimización del coagulante.

Concentración 500 mg/L y dosis 1.5 mg/L en la optimización del floculante.

Concentración 3333.333 mg/L y 20 mg/L en la optimización del regulador de pH.

Control pH dentro del rango establecido por la norma.

Y con ayuda del software Statgraphics se ha optimizado los experimentos utilizando el diseño factorial para tres variables independientes ($k=3$) con un número de pruebas experimentales (N) a dos niveles más dos puntos centrales como se da en la relación.

$N = 2^k + 3 = 2^3 + 3 = 8 + 3 = 11$ corridas en la dosificación de reactivos.

Obteniéndose una ecuación de modelo ajustado para la turbiedad

$$\text{Turbiedad} = 12.1345 - 2.71312 \cdot D_c - 3.7375 \cdot D_f + 5.68438 \cdot D_{pH} + 1.34375 \cdot D_c \cdot D_f - 0.62375 \cdot D_c \cdot D_{pH} - 0.57375 \cdot D_f \cdot D_{pH}$$

Lo que indica un modelo ajustado, que explica el 92.4711% de la variabilidad en Turbiedad.

- El agua turbia tratada fisicoquímicamente cumplió con los parámetros establecidos por la norma consiguientemente se logró demostrar los valores límites máximos permisibles, reduciendo los valores de SST de 2360 mg/L a 20 mg/L, Turbidez del agua de 3893 NTU a 6.07 NTU y obteniendo un % remoción de 99.84% de la turbidez manteniendo un pH de 7.21 casi neutro.

RECOMENDACIONES

- Realizar la prueba insitu por un tiempo determinado con las sustancias químicas seleccionadas, con el fin de obtener datos más representativos que permitan tomar decisiones acertadas.
- Realizar el análisis de aluminio residual del agua tratada en las pruebas de jarras, que permitan establecer un concepto más acertado acerca de los posibles riesgos que este pueda causar.
- Realizar una evaluación económica respecto a costos del sulfato de aluminio el auxiliar de coagulación y el Flopam PHP 40 y conocer que reactivos presentan la mayor viabilidad económica y operativa como coagulante, auxiliar de coagulante y floculante respectivamente, para el tratamiento del efluente líquido descargado en la minera aurífera Tunquimayo Mining.
- Realizar estudios sobre la relación existente de SST y Turbidez, el efecto de los SST en la turbidez y la obtención de datos de estos dos parámetros de manera indirecta.
- Utilizar el modelo matemático aquí planteado para la dosificación con el fin de dosificar de manera adecuada el coagulante. Esto traerá beneficios físico-químicos y económicos al proceso de clarificación del agua turbia en Tunquimayo Mining.
- Se recomienda realizar mantenimiento y calibración de los equipos utilizados en el proceso de clarificación de agua, obtener la bibliografía especializada orientada al tema en forma periódica por los escasos de este material.

BIBLIOGRAFIA

- Allende, H., Canessa, E., & Galviati, J. (2005). *Diseño de Experimentos Industriales*. Valparaíso Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Andia, C. Y. (2002). *CURSO_coagulacion-floculacion_Tratamiento de agua*. de SEDAPAL
- Arboleda, V. J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (ACODAL Tercera ed., Vol. Volumen 2). (M.-H. I. Extranjera, Ed.) McGraw Hill,.
- Association, A. W. (2002). *Calidad y tratamiento del agua: manual de suministros de agua comunitaria*. España: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Ayala, J., & Pardo, R. (1995). *Optimización por Diseños Experimentales con Aplicaciones en Ingeniería*. Lima, Perú: CONCYTEC.
- CEPIS. (1992). *Programa regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano*.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Macedo, O. F., & Salazar Vallenias, J. G. (1999). *Coagulación y Floculación de Aguas, utilizando Almidón Modificado de Yuca (Investigación Tecnológica)* (Vols. T- 517). Cusco, Cusco, Perú: Biblioteca Especializada de Ing. Química.
- Mendiola Soberon, L. P. (30 de 10 de 2015). Límites Máximos Permisibles de Agua en la actividad minera y la Realidad Hidrológica del Perú. *VOX JURIS*, 409.
- Narkis, N., & Rebhun, M. (1983.). *Inhibición de los procedimientos de floculación en los sistemas que contienen orgánica* (Vol. Vol 55).
- Romero Josejoner, H. (13 de 11 de 2016). *161113205330. Determinación de sólidos en el agua*. (curso virtual)

Romero Rojas, J. A. (1996). *Acuiquímica*. Santa Fe de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero Rojas, J. A. (2005). *Calidad del Agua*. Santa fe de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

SENA. (2015). *Operación de Sistemas de Potabilización de Agua (curso virtual)*.

Vargas, I. Lidia. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, Planta de Filtración rápida. MANUAL I: Teoría*. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente).

Linkcografía

Department of Biochemistry and Molecular Biophysics University of Arizona. (8 de 1996). *El Proyecto Biológico. Bioquímica*. Obtenido de La Química del Agua - Tutorial de Química - University of Arizona:

<http://www.biologia.arizona.edu/biochemistry/tutorials/chemistry/page3.html>

(Editor), W. (10 de febrero de 2010). *Ingeniería-de-aguas-residuales Ingeniería de aguas residuales*. Obtenido de scribd.com:

<https://es.scribd.com/document/273583211/Ingenieria-de-aguas-residuales-pdf>

Acosta Yaniris, L. (8 de 2006). *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de*. Obtenido de Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>

CONSULCONT-SMALLVILL. (02 de 05 de 2006). *Pilotaje del procesamiento del efluente de tratamiento de morrenas con el objetivo de mejorar la recuperación y evitar la contaminación con sólidos en suspensión*. Obtenido de CONSULCONT SAC:

<http://geco.mineroartesanal.com>

Daniela, C. B., & Giraldo, M. (20 de 11 de 2012). *6281622H565 Determinación de las Dosis Óptimas de Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado tipo B en función de la Turbiedad*

- y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana.* Obtenido de El Repositorio Institucional de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3146/6281622H565.pdf;jsessionid=15F0050FBE14EC1D99E4AFC01CE22236?sequence=1>
- Diario oficial el peruano. (2017). *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM*. Obtenido de Diario oficial el peruano: <https://busquedas.elperuano.pe>
- Garcia Pulido, D. (9 de 2015). *secme-17192.pptx*. Obtenido de UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MÉXICO:
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/20.500.11799/34260/1/secme-17192.pptx>
- Kuramoto, J. R. (septiembre de 2001). *La Minería Artesanal e Informal en el Perú - iied iied - International ...* Recuperado el 12 de 8 de 2015, de pubs.iied.org/pdfs/G00731.pdf
- Martinez, S. L. (17 de 06 de 2010). *Memòria Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa*. Recuperado el 30 de diciembre de 2016, de UPC. Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech:
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10383/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=2>
- MINAM. (2010). *Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>
- MINANBIENTE. (18 de Marzo de 2015). *d1-res_631_marz_2015 Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de MINANBIENTE:
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Molina, J., & Jácome, A. (04 de 02 de 2008). *Tema_coagulacion_170108 ENSAYO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN (JAR-TEST)*. Recuperado el 11 de 08 de 2017, de

Curso_Master_en_Ingenieria_del_Agua:

ftp://ceres.udc.es/Master_en_Ingenieria_del_Agua/master%20antiguo_antes%20del%202012/Segundo_Curso/Tecnicas_Experimentales_de_Calidad_de_Agua/LISA/Tema_coagulation_170108.pdf

Monteagudo Martinez, J. M., & Duran Segovia, A. (10 de 07 de 2006). *guion Diseño de Procesos en Ingeniería*. Recuperado el 31 de Diciembre de 2016, de Universidad de Castilla-La Mancha:

http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/guion.pdf

OZ PERU GROUP S.A.C. (31 de 10 de 2016). */relacion-solidos-suspendidos-la-turbidez-turbidimetro/*. Recuperado el 23 de 11 de 2017, de OZ PERU GROUP S.A.C.:

<http://www.oz-peru.com/relacion-solidos-suspendidos-la-turbidez-turbidimetro/>

Perez de la Cruz, F. J., & Urrea Mellabrera, M. A. (07 de 07 de 2011). *Coagulación-y-floculación-pdf Abastecimiento de Aguas TEMA 6*. Obtenido de Scribd.:

<https://es.scribd.com/document/306180755/Coagulation-y-floculation-pdf>

Pradillo, B. (12 de 09 de 2016). *Parámetros de control del agua potable*. Obtenido de Iagua:

<https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo>

Quispe, R. M. (14 de Octubre de 2012). *SlideShare*. (R. M. Quispe, Productor, & UPC Escuela de Postgrado Maestría en gestión minera) Recuperado el 07 de Diciembre de 2016, de Oro en camanti - slideshare: <http://es.slideshare.net/ReneMarioBeltranQuispe/oro-de-camanty>

Requena Mendizabal, M. A. (27 de 11 de 2009). *requena_mm Sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales en UEA Animón de Empresa Administradora Chungar SAC*. Recuperado el 15 de noviembre de 2016, de Universidad Nacional de Ingeniería.

Programa Cybertesis PERÚ.:

http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_fc9598c99faaf062f3d16a49c8116f14

- Ríos Rodríguez, J. (11 de 11 de 2014). *628161R586 VALIDACIÓN DE TÉCNICAS INSTRUMENTALES TURBIEDAD Y pH PARA EL*. Recuperado el 29 de 08 de 2016, de Repositorio Institucional de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4809/628161R586.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rocha, C. E. (2010). *Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas*. (U. A. Chihuahua, Ed.) Chihuahua, Mexico, Chihuahua, Mexico: Universidad Autonoma de Chihuahua. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de universia.net: <http://biblioteca.universia.net/>
- Surribas, C. F., & Banus, M. (Abril de 2010). *Revista%201%20N%201b H2O Elixir de vida*. Obtenido de CÁTEDRA FERNÁNDEZ SURRIBAS - BANÚS: <http://www.elementalwatson.com.ar/Revista%201%20N%201b.pdf>
- Toro, C. G. (OCTUBRE de 2011). *maguaturbidez Monitoreo de la calidad del agua*. Obtenido de www.WorldwaterMonitoringDay.org: <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>.

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“TRATAMIENTO FISICOQUIMICO DE AGUAS TURBIAS DE LA MINERA AURIFERA TUNQUIMAYO MINING E.I.R.L. CAMANTI-QUINCENMIL-2018”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES		METODOLOGIA
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE	
<p>PG: ¿Es posible realizar un tratamiento fisicoquímico de las aguas turbias generadas por la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019?</p>	<p>OG: Obtener agua limpia por tratamientos fisicoquímicos de las aguas turbias generadas por la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019</p>	<p>HG: Utilizando adecuados tratamientos fisicoquímicos de las aguas turbias se obtiene agua limpia que cumple con los valores límites máximos permisibles establecidos por las normas legales en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p>	<p>- Turbiedad - Sólidos suspendidos totales.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACION Es una investigación tecnológica de carácter cuantitativo.</p> <p>NIVEL DE LA INVESTIGACION. Es una investigación tecnológica de nivel explicativo y descriptivo.</p> <p>METODOS DE LA INVESTIGACION Se basa en la deducción, inducción y análisis de la investigación.</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACION. La estrategia metodológica y estadística es: DISEÑO EXPERIMENTAL. - Las variables se evalúan en pruebas experimentales a nivel de laboratorio.</p> <p>MUESTREO AGUA TURBIA. - Se tomará muestras en distintos puntos a lo largo del cauce del efluente líquido descargado, para mezclarlo y formar una muestra compuesta en la minera aurífera.</p> <p>TECNICAS, INSTRUMENTOS y EQUIPOS TECNICAS. – Se utilizan técnicas de recolección de información que se presentaran de manera sistemática dentro del desarrollo de esta investigación.</p> <p>INSTRUMENTOS Vasos de precipitado, matraz, probetas, pipetas, pipetas de plástico y vidrio, ...etc.</p> <p>EQUIPOS Sistema de bomba de vacío, balanza analítica, estufa de desecación, test de jarras, turbidímetro, pHmetro, cronometro.</p>	
<p>ESPECIFICOS PE1: ¿Cómo caracterizar el agua en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019?</p> <p>PE2: ¿Cómo realizar las pruebas fisicoquímicas usando el equipo test de jarras en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019?</p> <p>PE3: ¿De qué modo se optimizan las condiciones fisicoquímicas adecuadas del proceso en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019?</p> <p>PE4: ¿Cómo comparar los valores límites máximos permisibles establecidos por las normas legales en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019?</p>	<p>ESPECIFICOS OE1: Caracterizar las aguas turbias generadas por la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p> <p>OE2: Realizar ensayos fisicoquímicos usando el equipo test de jarras en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p> <p>OE3: Determinar las condiciones fisicoquímicas del proceso y optimizar experimentalmente aplicando herramientas estadísticas (software) en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p> <p>OE4: Demostrar a través de pruebas experimentales, lograr alcanzar los valores límites máximos permisibles establecidos por la norma con las aguas turbias generadas por la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p>	<p>HE1: Las descargas de agua son altamente turbias al procesar minerales en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p> <p>HE3: Al aplicar las pruebas fisicoquímicas usando el equipo test de jarras se limpia al agua turbia descargada por la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p> <p>HE4: Hallando los parámetros fisicoquímicos adecuados del proceso se obtiene agua limpia en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p> <p>HE5: Respetando los límites máximos permisibles del agua después del proceso se cumple con las normas legales del uso de agua en la Empresa Minera Aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L. Camanti-Quincemil-2019.</p>	<p>INDEPENDIENTE - Dosis de coagulante. - Dosis de floculante. - Dosis del regulador de pH.</p>		

ANEXO 02: DECRETO SUPREMO N° 010-2010-MINAM

424114

 **NORMAS LEGALES**

El Peruano
Lima, sábado 21 de agosto de 2010

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

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

MERCEDES ARÁOZ FERNÁNDEZ
Ministra de Economía y Finanzas

ENRIQUE CORNEJO RAMÍREZ
Ministro de Transportes y Comunicaciones

533964-6

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

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

Lima, 20 de agosto de 2010

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

CONSIDERANDO:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Estando a lo acordado;

SE RESUELVE:

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

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

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

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

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

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

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

533964-7

AMBIENTE

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

**DECRETO SUPREMO
N° 010-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:

CONSIDERANDO:

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

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

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

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

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

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

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

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

DECRETA:

Artículo 1°.- Objeto

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

Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación

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

Artículo 3°.- Definiciones

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

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

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

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

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

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

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

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

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

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

receptor, parámetros o frecuencias, siempre que exista el sustento técnico apropiado. El Ente Fiscalizador podrá recomendar las modificaciones que considere apropiadas a consecuencia de las acciones de fiscalización.

El Programa de Monitoreo considerará, además de los parámetros indicados en el presente anexo, los parámetros siguientes:

- a) Caudal
- b) Conductividad eléctrica
- c) Temperatura del efluente
- d) Turbiedad

La autoridad Competente podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

3.11 Protocolo de Monitoreo.- Norma aprobada por el Ministerio de Energía y Minas en coordinación con el Ministerio del Ambiente, en la que se indican los procedimientos que se deben seguir para el monitoreo del cuerpo receptor y de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. Sólo será considerado válido el monitoreo realizado de conformidad con este Protocolo, su cumplimiento es materia de fiscalización.

3.12 Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP.- Documento mediante el cual el Titular Minero justifica técnicamente la necesidad de un plazo de adecuación mayor al indicado, de acuerdo al artículo 4° numeral 4.2. del presente Decreto Supremo, el cual describe las acciones e inversiones que ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP. Este Plan se incorporará al correspondiente estudio ambiental y de ser el caso será parte de la actualización del plan de manejo ambiental señalada en el artículo 30° del Reglamento de la Ley N° 27446, aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM.

3.13 Titular Minero.- Es la persona natural o jurídica que ejerce la actividad minera.

Artículo 4°.- Cumplimiento de los LMP y plazo de adecuación

4.1 El cumplimiento de los LMP que se aprueban por el presente dispositivo es de exigencia inmediata para las actividades minero - metalúrgicas en el territorio nacional cuyos estudios ambientales sean presentados con posterioridad a la fecha de la vigencia del presente Decreto Supremo.

4.2 Los titulares mineros que a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo cuenten con estudios ambientales aprobados, o se encuentren desarrollando actividades minero - metalúrgicas, deberán adecuar sus procesos, en el plazo máximo de veinte (20) meses contados a partir de la entrada en vigencia de este dispositivo, a efectos de cumplir con los LMP que se establecen.

Los titulares mineros que hayan presentado sus estudios ambientales con anterioridad a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo y son aprobados con posterioridad a éste, computarán el plazo de adecuación a partir de la fecha de expedición de la Resolución que apruebe el Estudio Ambiental.

4.3 Sólo en los casos que requieran el diseño y puesta en operación de nueva infraestructura de tratamiento para el cumplimiento de los LMP, la Autoridad Competente podrá otorgar un plazo máximo de treinta y seis (36) meses contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo, para lo cual el Titular Minero deberá presentar un Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, que describa las acciones e inversiones que se ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP y justifique técnicamente la necesidad del mayor plazo.

El Plan en mención deberá ser presentado dentro de los seis (06) meses contados a partir de la entrada en vigencia del presente dispositivo.

Mediante Resolución Ministerial, el Ministerio de Energía y Minas aprobará los criterios y procedimientos para la evaluación de los Planes de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como los Términos de Referencia que determinen su contenido mínimo.

Artículo 5°.- Prohibición de dilución o mezcla de Efluentes

De acuerdo con lo previsto en el artículo 113° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, todo Titular Minero tiene el deber de minimizar sus impactos sobre las aguas naturales, para lo cual debe limitar su consumo de agua fresca a lo mínimo necesario.

No está permitido diluir el efluente líquido con agua fresca antes de su descarga a los cuerpos receptores con la finalidad de cumplir con los LMP establecidos en el artículo 1° del presente Decreto Supremo.

Asimismo, no está permitida la mezcla de efluentes líquidos domésticos e industriales, a menos que la ingeniería propuesta para el tratamiento o manejo de aguas, así lo exija, lo cual deberá ser justificado técnicamente por el Titular Minero y aprobado por la autoridad Competente.

Artículo 6°.- Resultados del monitoreo

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, es responsable de la administración de la base de datos de monitoreo de efluentes líquidos y calidad de agua de todas las actividades minero - metalúrgicas; los titulares mineros están obligados a reportar a dicha Dirección General los resultados del monitoreo realizado. Asimismo, el Ente Fiscalizador deberá remitir a la citada Dirección General los resultados del monitoreo realizado como parte de sus actividades de fiscalización.

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros garantizará el acceso oportuno y eficiente a la base de datos al Ente Fiscalizador. Asimismo, deberá elaborar dentro de los primeros sesenta (60) días calendario de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo reportados por los titulares mineros durante el año anterior, el cual será remitido al Ministerio del Ambiente.

Artículo 7°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización y sanción por el incumplimiento de los LMP aprobados en el presente Decreto Supremo, así como de la ejecución del Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP está a cargo del Ente Fiscalizador; quien en el desarrollo de sus funciones, recurrirá, entre otros, a la base de datos de monitoreo ambiental administrada por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

Artículo 8°.- Coordinación interinstitucional

Si en el ejercicio de su función de fiscalización, supervisión y/o vigilancia, alguna autoridad toma conocimiento de la ocurrencia de alguna infracción ambiental relacionada al incumplimiento de los LMP aprobados por el presente dispositivo, y cuya sanción no es de su competencia, deberá informar al Ente Fiscalizador correspondiente o a la autoridad competente, adjuntando la documentación correspondiente.

Artículo 9°.- Regímenes de Excepción

De manera excepcional, la Autoridad Competente podrá exigir el cumplimiento de límites de descarga más rigurosos a los aprobados por el presente Decreto Supremo, cuando de la evaluación del correspondiente instrumento de gestión ambiental se concluya que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento del respectivo Estándar de Calidad Ambiental - ECA.

Artículo 10°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Energía y Minas.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- El Ministerio de Energía y Minas, en coordinación con el Ministerio del Ambiente aprobará el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos en un plazo no mayor de doscientos cincuenta (250) días calendario contados a partir de su entrada en vigencia del presente Decreto Supremo.

Segunda.- En el plazo máximo de sesenta (60) días calendario contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio de Energía y

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

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

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

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

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

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

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

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

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

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

PEDRO SÁNCHEZ GAMARRA
Ministro de Energía y Minas

ANEXO 01

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

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

(*) En muestra no filtrada

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

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

533964-1

**COMERCIO EXTERIOR
Y TURISMO**

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

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

Lima, 20 de agosto de 2010

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

CONSIDERANDO:

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

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

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

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

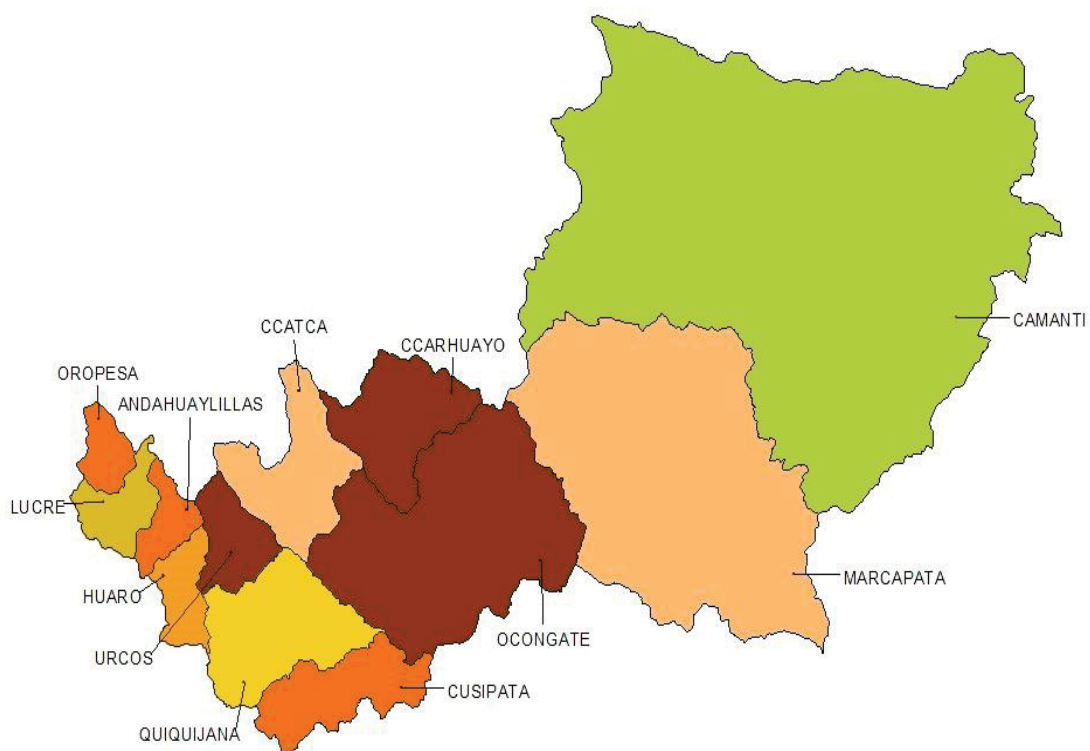
Que, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010, prohíbe los viajes al exterior con cargo a recursos públicos, salvo los casos excepcionales que la misma Ley señala, entre ellos, los viajes que se efectúen en el marco de las acciones de promoción de importancia para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

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

ANEXO 03: LOCALIZACION POLITICA Y GEOGRAFICA

Demarcación Territorial de la provincia de Quispicanchi.

QUISPICANCHI



Fuente: Publica

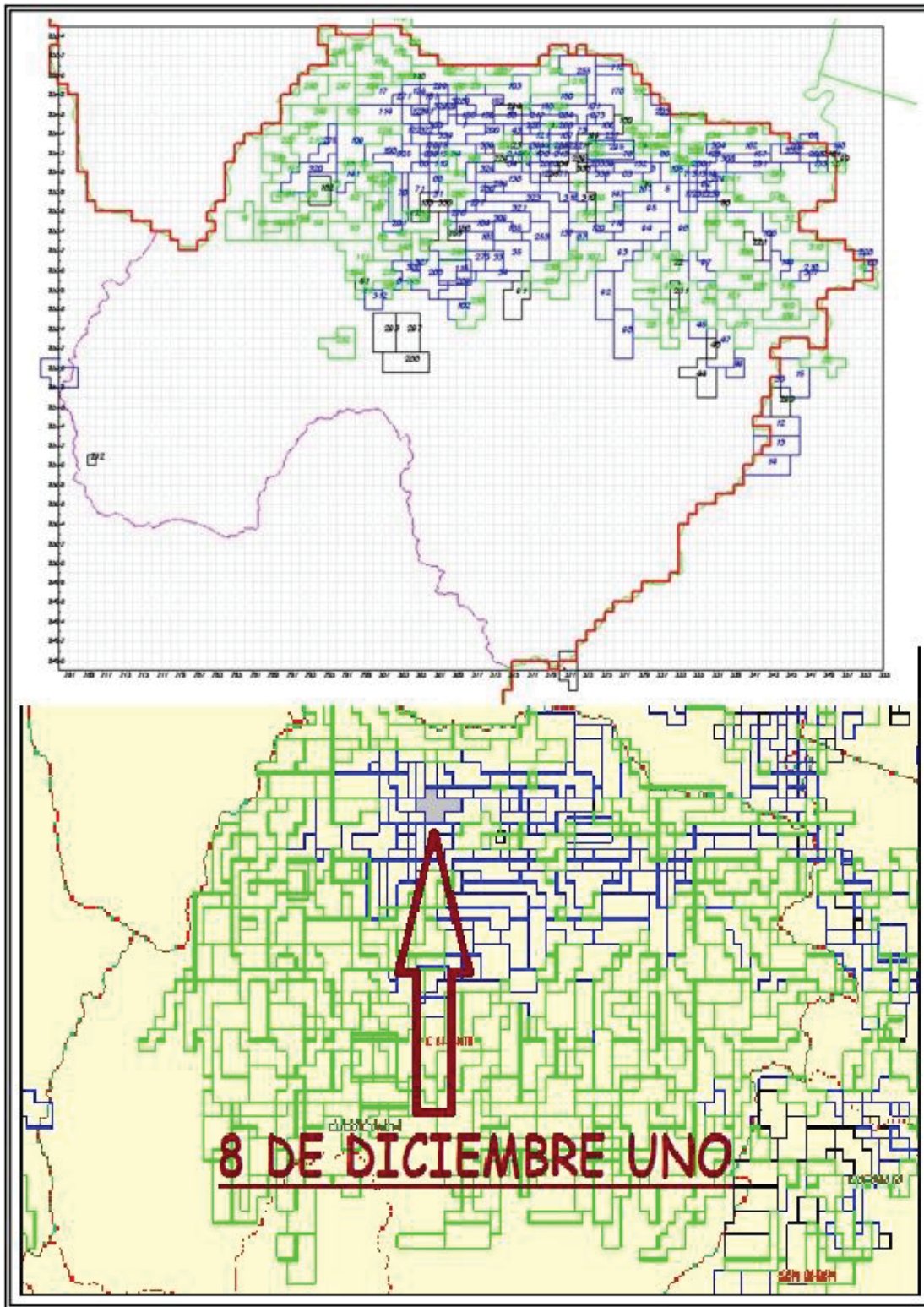
Coordenadas

Coordenadas UTM, "8 DE DICIEMBRE UNO

VERTICES	NORTE	ESTE
1	8 546 000.00	309 000.00
2	8 545 000.00	309 000.00
3	8 545 000.00	312 000.00
4	8 544 000.00	312 000.00
5	8 544 000.00	310 000.00
6	8 543 000.00	310 000.00
7	8 543 000.00	308 000.00
8	8 544 000.00	308 000.00
9	8 544 000.00	307 000.00
10	8 545 000.00	307 000.00
11	8 545 000.00	308 000.00
12	8 546 000.00	308 000.00

Fuente: Dirección Regional de Energía y Minas Cusco

Coordenada Catastral



Fuente: www.ingemmet.gob.pe

ANEXO 04: SOLICITUD Y CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO

SOLICITA: AUTORIZACION PARA USO DE MATERIAL DE
LABORATORIO QUIMICO Y EQUIPOS

SEÑORA:

ING. CORINA F. ALVAREZ NUÑEZ

COORDINADORA DEL AREA DE FISICO QUIMICA – UNSAAC.

Yo, ALVARO HUAMAN QUISPE, con DNI 23975747, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de San Antonio Abad del Cusco. Ante Ud., me presento respetuosamente y expongo lo siguiente:

Que teniendo la necesidad de realizar un Desarrollo Experimental para la elaboración de Tesis, motivo por el cual recorro a Ud., para solicitar AUTORIZACION PARA USO DE MATERIAL DE LABORATORIO QUIMICO Y EQUIPOS que a continuación mencionó:

Una probeta de litro.

Tres matraces de litro c/u.

Cuatro vasos de precipitados de un litro c/u.

Pipetas de 5 ml y jeringas de 10 ml.

Balanza analítica.

Agitador magnético.

Agitador mecánico (Test de jarras proporcionado por el solicitante)

PH metro digital.

Turbidímetro.

Con los cuales daré inicio a las pruebas desde el día martes 14 en el horario de 9:00 a 12:00 am del presente mes por espacio de 5 días hasta finalizar las pruebas y realizar la medición de turbiedad, preparación de reactivos, bajo la dirección y permiso del coordinador del Área.

POR LO EXPUESTO:

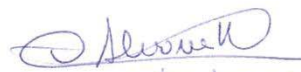
Pido a Ud. Señora coordinadora acceder a mi petición por ser de mucha importancia para el desarrollo de mi tesis.

Cusco, 13 de Febrero del 2017



ALVARO HUAMAN QUISPE

DNI: 23975747



C-13/II/2017

CONSTANCIA

Por medio de la presente dejamos constancia que los Sres. Álvaro Huamán Quispe y José Américo Betancurt Palomino Bachillere, de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica identificado con DNI N° 23975747 – 23959910, realizaron sus pruebas experimentales para la elaboración de tesis intitulado **“TRATAMIENTO FISICOQUIMICO DE AGUAS TURBIAS DE LA MINERA AURIFERA TUNQUIMAYO MINIG E.I.R.L. CAMANTI – QUINCEMIL”** en el ambiente LQ – 206 de la Escuela Profesional de Química del departamento académico de Química de la Facultad de Ciencias de la UNSAAC realizando el desarrollo experimental desde el 14 de febrero del 2017 hasta el 15 de agosto del 2017 Bajo la dirección y permiso del coordinador del área realizando los siguientes ensayos:

Determinacion de sólidos

- Solidos suspendidos
- Solidos disueltos

Pruebas de jarras

- Preparación de reactivos
- Dosificación de reactivos
- Control de PH
- Control de turbiedad.

Expedimos esta constancia de acuerdo a la Autorización Solicitada para el uso de material de laboratorio químico y equipos, referente a la elaboración de tesis.

Cusco miércoles 28 de noviembre del 2018



Coordinadora del área de Físicoquímica – UNSAAC

ING. Obdulia Mellado Vargas

ANEXO 05: INFORMES DE ANALISIS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0656-17-LAQ

SOLICITANTE: ALVARO HUAMAN QUISPE
JOSE AMERICO BETANCURT PALOMINO

MUESTRA : AGUA
FUENTE : AGUA DURANTE EL PROCESO
DISTRITO : KAMANTI QUINCEMIL
PROVINCIA : QUISPICANCHI
REGION : CUSCO
FECHA : C/13/10/2017

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

=====

Turbiedad NTU	3936.00
pH	7.30
C.E. uS/cm	224.00
Dureza ppm CaCO ₃	152.30
Calcio ppm	42.56
Magnesio ppm	10.17
Cloruros ppm	10.50
Sulfatos ppm	144.50
Bicarbonatos ppm(Alcalinidad)	136.00
Carbonatos ppm	0
Hierro ppm	0.69
Aluminio ppm	0.049
Solidos suspendidos ppm	2230.00
Sales solubles totales ppm	342.80

==

*

Cusco, 18 de Octubre, 2017

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
Melquiades Herrera Arrieta



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0657-17-LAQ

SOLICITANTE: ALVARO HUAMAN QUISPE
 JOSE AMERICO BETANCURT PALOMINO

MUESTRA : AGUA
 FUENTE : AGUA DESPUES DEL PROCESO
 DISTRITO : KAMANTI QUINCÉMIL
 PROVINCIA : QUISPICANCHI
 REGION : CUSCO
 FECHA : 06/13/10/2017

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

=====

Turbiedad NTU	0.86
pH	7.45
C.E. uS/cm	269.00
Dureza ppm CaCO ₃	180.20
Calcio ppm	49.40
Magnesio ppm	12.60
Cloruros ppm	7.20
Sulfatos ppm	168.20
Bicarbonatos ppm	122.40
Carbonatos ppm	0
Hierro ppm	0.42
Aluminio ppm	0.056
Solidos suspendidos ppm	0.60
Sales solubles totales ppm	389.60

=====

*

Cusco, 18 de Octubre 2017

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios Análisis



Melquiades Herrera Arriola
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO

ANEXO 06: HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD MSDS



Silicatos y Derivados S.A. de C.V.
una filial de PQ Corporation

Seguridad
e Higiene

SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sección I Datos Generales

Fabricante	Silicatos y Derivados SA de CV Río Lerma #55, Fraccionamiento Industrial San Nicolás, Tlalnepantla de Baz, Estado de México, 54030 01(55) 5227-6800 LADA SIN COSTO 01-800-906-8500
Teléfono de Emergencia	01-800-002-1400 SETIQ

Sección II Datos de la Sustancia

Nombre Químico	Sulfato de Aluminio Sólido
Nombre Comercial	Sulfato de Aluminio Sólido
Familia Química	Sal Inorgánica de Aluminio
Sinónimos	Alumbre, Trisulfato de Aluminio
Fórmula Química	Al ₂ (SO ₄) ₃ x 14H ₂ O

Sección III Identificación de la Sustancia

N° CAS	10043-01-3	CLASIFICACION DE GRADO DE RIESGO	
N° ONU (UN)	3077	SALUD	2
N° DOT	3077	INFLAMABILIDAD	0
LMPE-PPT	No disponible	REACTIVIDAD	0
LMPE-CT	No disponible	ESPECIAL	0
LMPE-P	No disponible	EPP	X
IPVS (IDHL)	No disponible		

COMPOSICIÓN QUÍMICA			
Sustancia	N° CAS	Porcentaje	Clasificación de Grado de Riesgo
Sulfato de Aluminio	10043-01-3	57 %	S = 2, I = 0, R = 0, E = CORR, EPP = X
Agua	7732-18-5	43 %	S = 0, I = 0, R = 0, E = 0, EPP = 0

Sección IV Propiedades Físicas y Químicas

Temp. de Ebullición	101°C	Estado Físico	Granular o polvo
Temp. de Fusión	-16°C	Color	Blanco a crema
Temp. de Inflamación	No es inflamable	Olor	Sin olor
Temp. de Autoignición	No Aplica	Vel. de Evaporación	No Disponible
Densidad	1.61 g/cm ³	Solubilidad en Agua	50% Soluble a 0°C
pH	-3.5 (1% Solución)	Presión de Vapor	Insignificante
Peso Molecular	-594 para Al ₂ (SO ₄) ₃ x 14H ₂ O	Porcentaje de Volatilidad	No Aplica

LÍMITE DE INFLAMABILIDAD O EXPLOSIVIDAD	
Límite Superior	No Aplica
Límite Inferior	No Aplica

HDS-SH-08 06/11/07 Rev. 3



SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sección V Riesgos de Fuego o Explosión

Medio de Extinción	Este material no es combustible. Este material es compatible con todos los medios de extinción, sin embargo tenga en mente que al adicionar agua puede causar la formación de ácido sulfúrico.
EPP para Combate de Incendio	El siguiente equipo de protección para bomberos es recomendado cuando este material este presente en el área del fuego: respirador contra partículas, googles resistentes a químicos, traje antiácido (Tyvek), guantes resistentes a químicos y botas de goma.
Precauciones Especiales	Es corrosivo por lo que ataca metales, el hierro y el aluminio son especialmente vulnerables.
Otro Riesgo Especial	No Aplica
Productos de la Combustión	Forma óxido de aluminio y tritóxido de azufre a temperatura arriba de los 650°C

Sección VI Datos de Reactividad

Reactividad	Este material es estable bajo condiciones normales de manejo y almacenamiento. Si se evapora hasta secarse, el residuo no debe ser expuesto a altas temperaturas (>760°C) debido a que desprenderá gases tóxicos y corrosivos.
Incompatibilidad	Se hidroliza fácilmente para formar algunas cantidades de ácido sulfúrico. Con bases fuertes puede reaccionar violentamente o con materiales reactivos al agua como el oleum.
Descomposición Peligrosa	Ácido Sulfúrico. A altas temperaturas se puede formar óxido de sulfuro, los cuales son tóxicos, corrosivos y oxidantes. El trióxido de sulfuro es un riesgo de incendio. La pérdida de estos gases puede dejar un residuo cáustico.
Polimerización	No Aplica
Condiciones a Evitar	Corrosivo para metales en contacto con la humedad, generación de spray o nieblas en el aire, evitar su entrada a alcantarillas o depósitos de agua, evitar su exposición a altas temperaturas.

Sección VII Riesgos a la Salud y Primeros Auxilios

RIESGOS A LA SALUD SEGÚN LA VÍA DE ACCESO AL ORGANISMO	
Ingestión	Puede causar dolor abdominal, náuseas y vómito, soluciones concentradas arriba de 20% pueden causar quemaduras en la boca, estomago, fatal para la coordinación y espasmos musculares. Ingestiones repetidas pueden causar deficiencia de fósforo y el consecuente debilitamiento de los huesos.
Inhalación	La exposición a nieblas o spray causa irritación en la nariz y garganta. Altas concentraciones pueden causar congestión y constricción de las vías respiratorias. En inhalaciones prolongadas puede causar cicatrización del tejido superior del pulmón.
Contacto	Soluciones concentradas pueden causar irritación e inflamación o daño permanente en los ojos, e irritación, inflamación y posibles quemaduras. Una exposición prolongada o repetida puede causar irritación en manos e insensibilidad en los dedos.

SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO	
Carcinógena	No Aplica
Mutagénica	No Aplica
Teratogénica	No Aplica

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	
CL₅₀	250 ppm, 96 horas
DL₅₀	6207 mg/kg (oral, ratón), 1930 mg/kg (oral, rata)
Efectos por Sobre Exposición	No se conocen riesgos por sobre exposición.
Otro Tipo de Riesgos	No Disponible
Antídoto	No Aplica



SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

MEDIDAS PRECAUTORIAS EN CASOS ESPECIFICOS	
Ingestión	NO INDUZCA EL VÓMITO. Suministre dos vasos de agua. Solicite atención médica de inmediato.
Inhalación	Coloque a la persona afectada en un lugar con aire fresco, mantenerla abrigada y en reposo. Si respira o se para con dificultad, una persona capacitada debe administrar respiración artificial.
Piel	En caso de contacto, lave inmediatamente con abundante agua. Remueva los zapatos y ropa contaminada, lave las partes afectadas con agua y jabón. Solicite atención médica.
Ojos	En caso de contacto, lave inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos. Solicite atención médica.

Sección VIII Indicaciones en caso de Fuga o Derrame

PROCEDIMIENTOS Y PRECAUCIONES INMEDIATAS
<ul style="list-style-type: none"> Selle la fuga con sellos de neopreno y aplique rocío de agua para disolver el material. Retire al personal no protegido del área y construya diques de cal o de carbonato de calcio para contener el derrame. Los líquidos acumulados pueden recuperarse para su uso, utilice mangueras apropiadas, bombas de acero inoxidable o con alma de acero inoxidable y recipientes de plástico o fibra de vidrio.

METODO DE MITIGACION
<ul style="list-style-type: none"> Construya diques para contener el derrame con material inerte, arena o cal, en caso de entrar en contacto con el agua. Cuando sea necesario, neutralice el material con los mismos materiales con que construyo los diques. Evite que el material llegue al alcantarillado o a depósitos de agua natural.

Sección IX Protección Especial Específica para Situaciones de Emergencia

Protección Ocular Facial	Googles o lentes de seguridad.
Protección Respiratoria	Utilice respiradores aprobados para estos casos.
Ropa Protectora	Ropa de trabajo y casco de seguridad estándar, guantes de carmaza o piel y botas de seguridad.

Sección X Información sobre Transportación

N° DOT	3077
N° ONU	3077
Clasificación	Misceláneo, 9 (sólo sí en un empaque contiene más de 3950 Kg o 8700 lbs)
Grupo de Embalaje	No Aplica

Sección XI Información sobre Ecología

COMPORTAMIENTO DE LA SUSTANCIA QUÍMICA	
Aire	No Disponible
Agua	En contacto con altas concentraciones de material cambiaran su pH a ácido.
Suelo	No Disponible



SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

EFECTOS	
Flora	En contacto con altas concentraciones sufrirán deshidratación.
Fauna	No Disponible

Sección XII Precauciones Especiales

Manejo:	Utilice el EPP recomendado en la sección IX. Evite el contacto con los ojos, piel y ropa. Evite respirar el polvo. Mantenga los contenedores cerrados. Limpie inmediatamente los derrames de material.
Transportación:	Ninguna
Almacenamiento:	Almacene en contenedores plásticos, de acero inoxidable o de fibra de vidrio. Conducir por tuberías de PVC, fibra de vidrio o acero inoxidable. No utilice acero al carbón a menos que el interior se recubra con una película de neopreno o anticorrosiva.
Especial:	Use solamente con ventilación adecuada. Mantenga los contenedores cerrados. Mantenga el libre acceso a regaderas y lavajos.

Sección XIII Otra Información

La información contenida en esta Hoja de Datos de Seguridad se cree la más adecuada y la mejor disponible de Silicatos y Derivados SA de CV. Este documento tiene como intención proporcionar sólo una guía sobre las precauciones para el manejo adecuado del material por personal capacitado en el manejo de químicos. Silicatos y Derivados SA de CV no ofrece ninguna garantía comercial o cualquier otra, explícita o implícita, con respecto a la información o al producto relacionado, y no asume ninguna responsabilidad del resultado del uso o manejo del producto o de la información contenida en esta Hoja de Datos de Seguridad.

La información precedente se fundamenta en nuestros conocimientos y experiencia actuales sobre nuestro producto, por lo tanto, no es exhaustiva; y esta sólo aplica al producto que se define en las especificaciones. En caso de tratarse de combinaciones o mezclas, se deberá cerciorar de que no existe la posibilidad de que puedan ocurrir eventos peligrosos. En cualquier caso, el usuario no está exento de observar y cumplir con todos los procedimientos legales, administrativos y reglamentarios relacionados con el producto, la higiene personal y la integridad del ambiente de trabajo.

En ningún caso Silicatos y Derivados SA de CV tendrá responsabilidad u obligación alguna respecto a cualquier daño indirecto, especial, consecencial, incidental o punitivo ocasionado por la información contenida en el presente documento, así como tampoco por el uso indebido o incorrecto que se haga de dicha información. Silicatos y Derivados SA de CV no será responsable, bajo ninguna circunstancia, del incumplimiento o inobservancia de las disposiciones legales o normativas de la República Mexicana relacionadas con el debido uso, manejo, transporte, almacenamiento y/o desecho de productos o residuos peligrosos por parte del lector, cliente o por aquella(s) persona(s) que haga(n) uso del presente documento.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD M.S.D.S.		
CEFAS S.A.	IRAM 41400/2006	Aprobación:

I. Identificación del producto y de la compañía.

Identificación del producto		USOS	
Nombre del Producto:	Cal Viva Triturada	Industria Siderurgica	Industria Química
Nombre Químico:	Oxido de Calcio	Minería	Industria del Papel
Formula Química:	CaO	Tratamiento de Aguas	Industria del Cuero
		Tratamiento de Efluentes	Industria Alimenticia

Identificación del fabricante		Datos de contacto	
Suministrador:	CEFAS S.A.	Teléfono (C.A.C.):	(+5411) 4124-9900
Domicilio:	Adolfo Aslina 1450 7º piso	Mail de contacto:	cac@cefas.com.ar
Localidad:	CP1088. Cap. Fed.	Página Web:	www.cefas.com.ar

II. Composición e información sobre componentes.

Nombre Químico:	Oxido de Calcio	Nº de CAS	1305-78-8
Principal Componente:	CaO	Peso molecular:	56,08

III. Identificación de Peligros.


Efectos adversos sobre la salud humana:


Piel:	Irritación severa, eventualmente causar erupciones y quemaduras.
Ojos:	Quemadura violenta, irritación severa, produciendo lesiones severas en función de la exposición.
Ingestión:	Su poder cáustico, puede generar quemaduras en boca, esófago, irritación de estomago, nauseas.
Inhalación:	Irritación en senos nasales, produciendo lesiones severas en función de la exposición. Congestión respiratoria pulmonar.

Efectos adversos sobre el medioambiente:

Medio Ambiente:	No representa riesgo al medio ambiente. La cal viva clásica es degradable en el tiempo, con la presencia de humedad y absorción del anhídrido carbónico se transforma en carbonato de calcio utilizado para la estabilización de suelos arcillosos.
Otras Informaciones:	No clasificado como Peligroso para la distribución y transporte HMR (Hazardous Materials Regulations (USA). En contacto con el agua libera importantes cantidades de calor aumentando su volumen en 2,5 veces. Precaución de contacto con el agua para evitar rotura de envases.

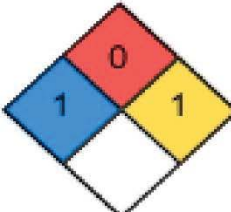

IV. Primeros Auxilios.

Piel:		En caso de producirse exposición en los ojos, lavar párpados y ojos, con abundante cantidad de agua fría directa de la canilla. De persistir la irritación, o de quedar cal sin remover, lavar con una solución diluida de vinagre común y cubrirlos con un vendaje estéril.
-------	---	--

Ojos:		Si la piel estuvo expuesta a la cal, lavar con abundante agua fría. De persistir la irritación, o de quedar cal sin remover, lavar con una solución diluida de vinagre común y cubrirlos con un vendaje estéril.
Ingestión:		En caso de ingestión, tomar inmediatamente abundante agua para diluirla en el interior del organismo, y si es posible, ingerir además una solución diluida de vinagre común para una mejor y más rápida reacción. IMPORTANTE: No inducir al vomito.
Inhalación:		Si se ha producido la inhalación, trasladar a la persona de inmediato al exterior, donde pueda respirar aire puro o suministrar oxígeno si fuera necesario. En casos más graves como asfixia, solicitar inmediatamente el traslado a un centro asistencial.

V. Medidas contra incendio.

Identificación de riesgos:	
Riesgo Especifico:	No posee riesgo de incendio / explosión.
Riesgo General:	Evitar inhalar el polvo.
Producto combustión:	Ninguno.

SALUD 4 - Mortal 3 - Peligro Extremo 2 - Peligro Moderado 1 - Poco Peligroso 0 - Material Normal	Riesgo de incendio  Riesgo para la salud Reactividad Riesgo específico	PELIGRO INCENDIO 4 - Menor a 22,8 °C 3 - Menor a 37,8 °C 2 - Menor a 93,3 °C 1 - Mayor a 93,3 °C 0 - No combustible
PELIGRO ESPECIFICO Oxidante - OXY Ácido - ACID Alcalino - AIK Corrosivo - COR No use Agua - W Radiación - 		REACTIVIDAD 4 - Altamente Explosivo 3 - Explosivo Moderado 2 - Cambio químico Violento 1 - Inestable a altas Temp. 0 - Estable




VI. Medidas en caso de derrames accidentales.

Personales:	Mantener a las personas alejadas del lugar. Evitar el contacto con piel, ojos e inhalación en forma prolongada en caso de tomar contacto directo proceder según medidas de primeros auxilios (Sección IV).
Medio ambiente:	Evitar que el derrame tome contacto con algún cauce de agua. De suceder dar aviso a la autoridad sanitaria.
Método de limpieza:	En sectores cerrados, ventilar y recuperar el producto manual o mecánicamente (Palas / Aspiración). Para la eliminación de sobrantes, incorporar agua en forma abundante hasta completar la hidratación del Oxido de Calcio, transformándose en inerte, pudiéndose incorporar al suelo. Con la incorporación del anhídrido carbónico del ambiente se convertirá en carbonato de calcio..

VII. Manipulación y Almacenamiento.

Presentación:	El producto podrá ser embolsado en bolsas de polietileno resistentes a la humedad de primer uso, y/o Bolsones de polipropileno con tratamiento por rayos UV.
Manipulación:	Utilizar los Elementos de protección personal estipulados en sección VIII. En caso de estibado, las bolsas deben colocarse en forma "trabada", en pilas que no superen la cantidad de quince (12) bolsas. Importante: para evitar la rotura de las bolsas, se recomienda NO superponer los pallets. Los bolsones deberán ser manipulados por maquinarias aptas para su peso.
Almacenamiento:	Material altamente higroscópico, almacenar en áreas secas y libres de humedad. Mantener protegido de la intemperie por peligro de lluvias. Las Bolsas y los Bolsones deberán ser almacenados en depósitos o lugar fresco, ventilado y protegido de la
Temperatura:	Ambiente.

VIII. Controles de exposición / protección personal.

Parametros de Control	Limite permisible ponderado: 1,6 mg / m3 (DS 594 del 15/09/99). Limite permisible absoluto: No tiene.
Protección respiratoria	Utilizar mascarilla con filtro de partículas de alta eficiencia. 
Protección de las manos	Guantes de nitrilo impregnado o PVC. 
Protección Ocular	Utilizar, lentes de protección a los efectos de evitar un contacto involuntario. 
Protección de la piel y el cuerpo	Utilizar ropa holgada que no deje piel al descubierto, botas de goma de caña larga, antiparras con ventilación indirecta y respirador con filtro de polvo.

IX. Propiedades Físicas y Químicas.

Estado Físico	Sólido	Color	Blanco a grisáceo
Forma	Terrones de granulometría variada	Olor:	Inodoro
Temperatura de descomposición	No aplica	Punto de Inflamación	No Inflamable
Temperatura de auto ignición	No aplica	Propiedades de explosión	En contacto directo inmediato y sin control con líquidos (Agua y Ácidos)
Punto de ebullición:	No aplica		
Punto congelamiento:	No aplica	pH (25°C):	12,45
Presión de vapor:	No aplica	Densidad (Kg/m³):	800 - 1.150
Solubilidad en agua:	0,14g / 100g a 0°C	Estado físico a 20°C:	Sólido
Incompatibilidades:	Con ácidos fuertes	Inflamabilidad:	No combustible

X. Estabilidad y reactividad.

Estabilidad:	Volumétricamente inestable. Material Anhidro, absorbe humedad y aumenta su volumen hasta 2,5 veces.
Evitar contacto:	Reacciona violentamente en contacto con ácidos fuertes, generando calor y eventual explosión si se encuentra confinado.

Descomposición:	No se descompone.
------------------------	-------------------

XI. información Toxicológica.

Toxicidad aguda	Los efectos mas nocivos son provocados por su alcalinidad. Las exposiciones a corto plazo conllevan irritación en ojos, vías respiratorias y piel. El contacto directo puede provocar quemaduras intensas. Bronquitis y neumonías solo se registran en casos muy especiales, debido a que la irritación limita la exposición.
Toxicidad crónica o a largo plazo	Exposiciones al Oxido de Calcio, de a largo plazo o reiteradas, pueden causar: Dermatitis, ulcera y perforaciones del tabique nasal, opacidades en corneas por quemaduras no tratadas oportunamente.
Efectos locales	La exposición directa representa un resultado cierto de diversos tipos de dermatitis, acompañadas por descamación de la piel y erupción vesicular.
Sensibilidad alérgica	La dermatitis generada por exposición al Oxido de Calcio generalmente desaparece al cesar la exposición. En algunos casos la dermatitis recurrente ha ocasionado incapacidad permanente a la exposición.

XII. Información ecológica.

Movilidad	No aplica
Degradabilidad	El Oxido de Calcio se degrada naturalmente, absorbiendo humedad ambiente y anhídrido carbonico, transformandose en carbonato de calcio (piedra caliza)
Bio-acumulación	El margen tolerado por es de CL50 = 160 mg / lts. en 96 horas, la sustancia no es tóxica, por un valor LC50 > 100 mg / lts.
Efectos ambientales	Dada su biodegradabilidad, el óxido de calcio no presenta efectos ambientales nocivos.

XIII. Consideraciones sobre eliminación de desechos.

Eliminación de residuos	Mediante su neutralización y/o degradación.
Eliminación de envases o embalajes.	Según corresponda podrán reutilizarse o eliminarse en rellenos sanitarios. Los envases podrán reutilizarse previo lavado con abundante agua y neutralización. Los envases de polipropileno pueden incinerarse.

XIV. información sobre transporte.

Clasificación Nacional / Internacional:	Producto no clasificado como peligroso para el transporte.
Normas: ADR (Rutas)	Producto no clasificado como peligroso para el transporte.
Normas: RID (Ferrocaril)	Producto no clasificado como peligroso para el transporte.
Normas: IMDG/GGVSea (Marítimo).	Producto no clasificado como peligroso para el transporte.
Normas: IATA-DGR (Aéreo).	Producto no clasificado como peligroso para el transporte.

XV. información reglamentaria.

R37	Irritante de las vías respiratorias.	S25	Evitar el contacto directo con los ojos.
R38	Irritante en contacto con la piel.	S26	En caso de contacto con los ojos, lavar en forma inmediatamente con agua abundante.

R41	Riesgo de lesiones oculares graves.	S37	Utilizar guantes y elem. de proteccion adecuados.
S2	Manténgase fuera del alcance de los niños.	S39	Utilizar los elementos de protección personal en ojos y rostro.

XVI. Información adicional.

Esta ficha de datos de seguridad complementa las instrucciones de uso técnico, sin sustituirlos. La información contenida en los mismos se basa en el estado de nuestro conocimiento sobre el producto, en la fecha mencionada. Esta información se brinda de buena fe y no exime al usuario de conocer y aplicar todos los conocimientos aplicables a su actividad. Será su exclusiva responsabilidad tomar todas las precauciones necesarias al usar el producto. CEFAS S.A. no se responsabiliza por daños y perjuicios que pudieran producirse a personas y/o cosas, como consecuencia y/o en conexión con el uso y manipulación de sus productos.

PAGINA:	1 de 5
REVISION:	01/08/2002
IMPRESION:	08-12-2002

DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

FLOPAM PHP-40

Proveedor: SNF INC
 PO Box 250
 Riceboro, Georgia 31323
 Tel: 912-884-3366 Fax: 912-884-5031

2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

Identificación del preparado: Polímero Anionico soluble en agua
Identificación de la sustancia:

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Derrames produce superficie resbaladiza.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Salir al aire libre.
Contacto Dérmico: Lavar con agua y jabón como precaución. En caso de irritación dérmica persistente, consultar al médico.
Contacto ocular: Enjuagar a fondo con abundancia de agua, también debajo de los párpados. En caso de irritación ojos persistente, consultar al médico.
Ingestión: El producto es considerado no tóxico basada con estudios para animales de laboratorio

5. MEDIDAS PARA COMBATIR INCENDIOS

Medios de extinción apropiados: agua, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono (CO2), Polvo seco.
Precauciones especiales para combatir Incendios: Derramos produce superficie resbaladiza.
Equipo protector para los bomberos: No se requiere equipo especial de protección.

FLOPAM PHP-40

PAGINA: 2 de 5

REVISION: 01/08/2002

IMPRESION: 08-12-2002

6. MEDIDAS PARA LA LIBERACIÓN ACCIDENTAL

Precauciones personales: No se requieren precauciones especiales.

Precauciones ambientales: No contamina el agua.

Metodos de limpieza : No limpiar con agua. Limpiar inmediatamente barriendolo. Mantenerlo en caja conveniente para su deshecho. Despues de limpiar hechar agua a presion para eliminar trazas.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación: Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa. Evitar formacion de polvos. No respire el polvo. Lavarse las manos al dejar de trabajar con el producto.

Almacenamiento: Almacénese en un lugar seco y fresco (0 – 35°C). Manténgase separado de la humedad.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Controles técnicos: Usar extracción local por ocurre el vapore. Ventilación el aire este adecuada en ausencia de polvo.

Equipo protección personal

- **Protección respiratoria:** Mascara se requiere en ambientes donde la concentracio del Polvo es mayor a 10 mg/mt3.
- **Protección de las manos:** Guantes de goma.
- **Protección ocular:** Gafas protectoras con cubiertas laterales. No usar gafas de contacto.
- **Protección dérmica:** Nada especial requerido

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Forma: Solido granular

Color: Blanco

Olor: Ninguno

PAGINA:	3 de 5
REVISION:	01/08/2002
IMPRESION:	08-12-2002

FLOPAM PHP-40

PH:	4 – 9 @ 5 gr/lt
Temperatura de fusión (°C):	No se aplica
Punto de inflamación (°):	No se aplica
Temperatura de autoignición (°C) :	No se aplica
Presion de Vapor (mm Hg)	No se aplica
Densidad bulk:	Véase Ficha de Técnicas
Solubilidad en agua:	Vease Ficha tecnica
Viscosidad (mPa s):	Véase Ficha de Técnicas.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad:	El producto es estable, no existe polimerización peligrosa.
Condiciones a evitar	Agentes oxidantes puede causar reacción exotérmica.
Productos de	
Descomposición peligrosa:	No se descompone si se almacena y aplica como se indica. La combustión pueden producir: óxidos de nitrógeno (NOx) Óxidos de carbono (COx)

11.INFORMACIÓN TOXICOLOGICA

Toxicidad aguda

- **Oral:** DL50/oral/rata>5000 mg/kg.
- **Dérmica:** El producto se considera no toxico inclusive en dosis altas
- **Inhalación:** El producto no se espera sea toxico por inhalacion.

Irritación

- **Piel:** Los ensayos sobre conejos muestra no ser irritante para la piel.
- **Ojos:** Los ensayos de acuerdo a la tecnica Draize muestra que el producto No produce efecto corneal no iridial y solo produce un ligero y transitorio Efecto conjuntival similar a aquellos que producen todo producto granular.

- Sensibilización:** El ensayo sobre cerdos de guinea muestra que el producto no es sensitivo.
- Toxicidad crónica:** Estudios de alimentacion en ratas por 2 años no revelaron efectos adversos A la salud.
Estudios de alimentación de dos años en perros no revelaron ningún efecto.

FLOPAM PHP-40

PAGINA: 4 de 5

REVISION: 01/08/2002

IMPRESION: 08-12-2002

12. INFORMACIONES ECOLOGICAS

Pescados: LC 50/ Fathead minnows/ 96 h > 1000 mg/lit

Algas : EC 50/ Selenastrum capricornutum/96h > 500 mg/lit
El producto puede eliminarse rápidamente por medios acuáticos por absorción irreversible.

Bioacumulación: El producto no se espera que ocurra bioacumulación.

Persistencia/degradabilidad: No Biodegradable en el acto

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

**Desperdicios por residuos /
Producto no usado:** De acuerdo a los reglamentos locales y nacionales.

Paquetes contaminados: Enjuagar los recipientes vacíos con agua y usar esta agua de limpieza para preparar la solución de los residuos.
Puede eliminarse por terraplenado o incineración, siempre que las normas locales lo permitan.

14. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte. No regulado por DOT

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Componentes es listado como TSCA y DSL.

Condición de RCRA: No es peligroso

Número de residuo peligroso: No aplicable

Cantidad notificable (40 CFR 332): No aplicable

Cantidad de planificación umbral (40 CFR 335). No aplicable

FLOPAM PHP-40

Clasificaciones de HMIS y NFPA	HMIS	NFPA
Salud:	1	1
Inflamabilidad:	1	1
Reactividad:	0	0

16. INFORMACIÓN ADICIONAL

Contacto: Regulatory Affairs Manager

La información en esta Hoja de Datos de Seguridad es correcta a nuestro mejor entender, información y convección en el momento de la fecha de su publicación. La información proporcionada tiene como único fin servir de guía para la manipulación, el uso, el procesamiento, el almacenamiento, el transporte, la eliminación y la liberación segura, y no ha de considerarse una garantía ni una especificación de calidad. La información trata solo el material específico nombrado y tal vez no sea válida para tal material utilizado en combinación con cualquier otro material o en cualquier proceso salvo lo especificado en el texto.

ANEXO 07: PANEL FOTOGRAFICO

Figura 32 "Shute Portatil"



Fuente: Elaboración propia

Figura 33 Cause de rio afectado



Fuente: Elaboración propia

Figura 34 Pruebas de Coagulación - Floculación insitu



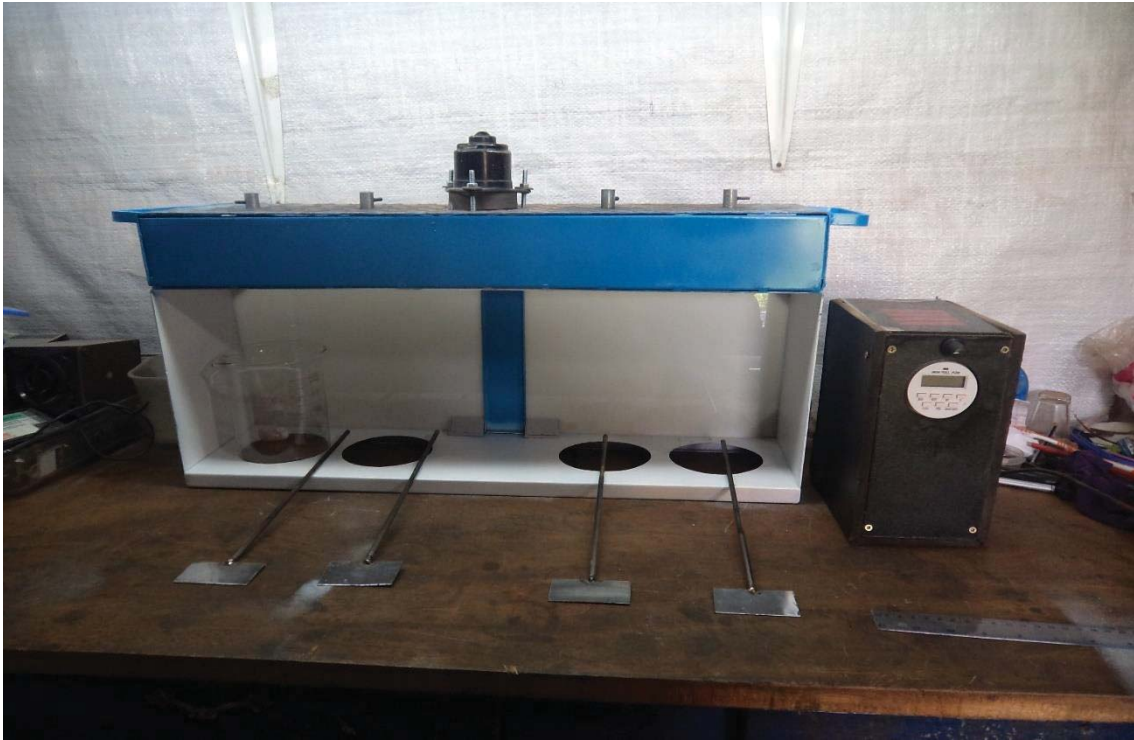
Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Construcción de equipo Jar test



Fuente: Elaboración propia

Figura 36 Equipo Jar test concluido



Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Pruebas preliminares



Fuente: Elaboración propia