

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**REMOCIÓN DE PLOMO Pb (II) DE SOLUCIONES ACUOSAS Y  
AGUAS RESIDUALES DE MINA, POR ADSORCIÓN,  
FLOCULACIÓN – SEDIMENTACIÓN DE FLUJO ASCENDENTE  
BATCH UTILIZANDO CHACKO (*Hidralgirita*) Y CAL (CaO)**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**RUBI YESSENIA MONROY QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

REMOCIÓN DE PLOMO Pb (II) DE SOLUCIONES ACUOSAS Y AGUAS  
RESIDUALES DE MINA, POR ADSORCIÓN, FLOCULACIÓN -  
SEDIMENTACIÓN DE FLUJO ASCENDENTE BATCH UTILIZANDO CHACKO  
(Hidralgirita) Y CAL (CaO)

TESIS PRESENTADA POR:

**RUBI YESSSENIA MONROY QUISPE**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO QUÍMICO**



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : .....  
D.Sc. MOISES PEREZ CAPA

PRIMER MIEMBRO : .....  
D.Sc. LIDIA ENSUEÑO ROMERO IRURI

SEGUNDO MIEMBRO : .....  
D.Sc. TEOFILO DONAIRES FLORES

DIRECTOR / ASESOR : .....  
D.Sc. NORBERTO SIXTO MIRANDA ZEA

**ÁREA :** Investigación  
**TEMA :** Remoción de Plomo  
**LÍNEA:** Recursos Naturales y Medio Ambiente

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 AGOSTO DE 2019

## DEDICATORIA

A mis Madre Bertha por brindarme su ayuda y apoyo incondicional en cada momento de mi desarrollo personal y profesional.

A mis hermanos por regalarme un poco de cada uno; Vilma por su constancia y ánimos, Marco por su apoyo

Gracias a cada uno de ellos.

A mis amigos Alexandra que siempre me ha brindado su apoyo incondicional apoyándome en cada momento, Abelardo por su amistad infinita y única, Mariela por ser como una hermana más para mí, Américo por no dejarme caer y apoyarme incondicionalmente en cada una de las facetas para la culminación de este proyecto.

## AGRADECIMIENTOS

- A mis padres y hermanos quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.
- A la Universidad Nacional del Altiplano Puno por el apoyo brindado en todos estos años y sentirme orgullosa de haber culminado mis estudios en tal respetable casa de estudios.
- Al D.Sc. Norberto Sixto Miranda Zea, asesor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.
- Al D.Sc. Moises Perez Capa por su apoyo y dedicación en la culminación de este proyecto, en especial a los ingenieros Jorge Aruhuanca, Walter Aparicio y Salomón Titto por el apoyo brindado.
- A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN .....	18
ABSTRACT.....	19
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>20</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	22
1.2.1. Problemas específicos .....	22
1.2.2. Antecedentes .....	22
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	25
1.3.1. Hipótesis general .....	25
1.3.2. Hipótesis específico.....	25
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	26
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
1.5.1. Objetivo general .....	27
1.5.2. Objetivos específicos.....	28
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>29</b>
2.1. MARCO TEÓRICO.....	29
2.1.1. Metales pesados.....	29
2.1.2. Metal pesado plomo y su toxicidad.....	30
2.1.3. El plomo en la naturaleza .....	30

2.1.4.	Toxicidad y efectos del plomo sobre la salud .....	31
2.1.5.	Efectos ambientales del plomo.....	31
2.1.6.	Toxicidad del plomo.....	32
2.1.7.	Efectos del plomo sobre el medio ambiente.....	34
2.1.8.	El Plomo en el agua.....	35
2.1.9.	Legislación nacional.....	35
2.1.10.	Índice de calidad del agua .....	38
2.1.11.	Drenaje ácido de minas DAM.....	39
2.1.12.	Tratamientos convencionales en la remoción de metales pesados de efluentes acuosos .....	39
2.1.13.	El chaco y adsorción.....	42
2.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	42
2.2.1.	Contaminación.....	42
2.2.2.	Clasificación de la contaminación.....	42
2.2.3.	Contaminación de aguas.....	43
2.2.4.	Definición del plomo.....	44
2.2.5.	Densidad aparente .....	44
2.2.6.	Coagulación.....	44
2.2.7.	Floculación .....	47
2.2.8.	Floculantes.....	48
2.2.9.	Fundamentos de adsorción .....	50
2.2.10.	Factores que influyen en la coagulación y floculación .....	51
2.2.11.	Sedimentación .....	55
2.2.12.	Tipos de sedimentación .....	55
2.2.13.	Teoría de la sedimentación discreta .....	56

2.2.14. Sedimentadores de sección circular de flujo ascensional.....	57
2.2.15. Ensayos de sedimentación en bach .....	58
2.2.16. Modelos cinéticos adsorción – floculación .....	60
2.2.17. Factores que afectan al proceso de adsorción .....	61
2.3. EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN .....	63
2.3.1. Isotermas de adsorción .....	65
2.3.2. Modelos teóricos del ajuste de isotermas de equilibrio experimentales en el proceso de adsorción .....	66
2.3.3. Arcilla Chacko ( <i>Hidralgirita</i> ) .....	70
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>76</b>
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....	76
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO .....	76
3.3. PROCEDENCIA DE MATERIAL UTILIZADO .....	77
3.3.1. Materia prima .....	77
3.3.2. Material de laboratorio y equipos.....	78
3.4. METODOLOGÍA .....	80
3.4.1. Caracterización de la arcilla de chacko ( <i>Hidralgirita</i> ).....	82
3.4.2. Caracterización del agua residual de mina contaminada con plomo Pb(II) .....	84
3.4.3. Caracterización de la Cal (CaO) Artesanal .....	85
3.4.4. Tratamiento de la Cal (CaO) .....	86
3.4.5. Tratamiento en el reactor sedimentador de flujo ascendente .....	88
3.4.6. Método espectrofotométrico para la determinación de plomo Pb(II) en muestra de agua.....	90

3.5.	PROCESO DE ADSORCIÓN – SEDIMENTACIÓN DEL ION PLOMO PB(II).....	91
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA ADSORCIÓN DEL ION PLOMO PB(II).....	94
3.6.1.	<Tipos de variables y niveles para el diseño experimental .....	94
3.6.2.	Matriz de diseño experimental .....	95
3.7.	MODELOS DE DISEÑO EXPERIMENTAL GENERAL .....	95
3.8.	VARIABLES .....	97
3.9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS .....	97
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>103</b>
4.1.	CARACTERIZACION DE LA ARCILLA CHACKO ( <i>HIDRALGIRITA</i> ) .....	103
4.1.1.	Características organolépticas .....	103
4.1.2.	Caracterización química del chacko.....	103
4.1.3.	Preparación de adsorbente de arcilla chacko ( <i>Hidralgirita</i> ) .....	105
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA CAL (CAO) ARTESANAL .....	107
4.3.	Caracterización del agua residual de mina contaminada con plomo Pb (II) .....	108
4.4.	PROCESO DE ADSORCIÓN DEL ION DE PLOMO PB(II) DE AGUAS RESIDUALES DE MINA.....	110
4.4.1.	Efecto de tiempo optimo en la adsorción de plomo Pb(II) Mediante el adsorbente Chacko ( <i>Hidralgirita</i> ) .....	110
4.4.2.	Efectos de la cantidad optima del adsorbente chacko ( <i>Hidralgirita</i> ) en la adsorción de Plomo Pb(II).....	113
4.4.3.	Efectos del pH optimo en la adsorción del plomo Pb(II) .....	115



4.5.	REMOCIÓN DEL PLOMO PB(II) DE AGUAS RESIDUALES DE MINA, POR ADSORCIÓN, COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN CON CAL (CAO) Y SEDIMENTACIÓN POR FLUJO ASCENDENTE.....	117
4.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA ADSORCIÓN DEL ION PLOMO PB(II).....	123
4.7.	RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE PLOMO PB(II) CONTENIDO EN EL AGUA RESIDUAL DE MINA .....	124
4.7.1.	Grafica de superficies de respuestas tridimensional adsorción de plomo de aguas residuales de mina, con variables tiempo-cantidad adsorbente chacko (A-B) .....	128
4.7.2.	Grafica de superficies de respuestas tridimensional adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables tiempo-pH (A-C).....	129
4.7.3.	Grafica de superficies de respuestas tridimensional adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables cantidad adsorbente-pH (B-C) .....	129
4.7.4.	Grafica de Superficies de Respuestas Tridimensional Adsorción de Plomo de Aguas residuales de mina para Variables Tiempo-Cantidad adsorbente Chacko-pH (A-B-C) ..	130
4.7.5.	Optimización de respuesta.....	131
4.8.	AJUSTE A UN MODELO DE EQUILIBRIO PARA ADSORCIÓN DE PLOMO PB (II) .....	132

4.9.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ADSORCIÓN DE PLOMO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE MINA.....	141
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>143</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>145</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>146</b>
	ANEXOS .....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Galena (izquierda) y cerusita (derecha). .....	30
Figura 2: Coagulación por adsorción. ....	46
Figura 3: Esquema de un floculante. ....	48
Figura 4: Tanque de Sedimentación de flujo ascensional. ....	58
Figura 5: Curva de asentamiento para un ensayo de sedimentación batch. ....	59
Figura 6: Progresión de sedimentación zonal.....	59
Figura 7: Isoterma de Langmuir (Villanueva 2007).....	68
Figura 8: Isoterma de Freundlich Villanueva (2007). ....	70
Figura 9: Extracción de Arcilla Chacko ( <i>Hidralgirita</i> ).....	71
Figura 10: lugar de extraccion del chacho ( <i>hidralgirita</i> ). ....	78
Figura 11: Tratamiento del Chacko ( <i>Hidralgirita</i> ), para proceso de Adsorción de Ion Plomo Pb (II) de aguas residuales de mina.....	83
Figura 12: Lugar de muestreo de agua residual minero. ....	84
Figura 13: Proceso de tratamiento de la cal artesanal (cao). ....	88
Figura 14: Sedimentador de flujo ascendente de sección cilíndrica.....	89
Figura 15: Componentes del reactor sedimentador de flujo ascendente. ....	90
Figura 16: Grafica de la curva estándar.....	91
Figura 17: Espectro del analisis de chacko.....	104
Figura 18: Balance de materia de la preparación física del adsorbente arcilla chacko ( <i>Hidralgirita</i> ).....	106
Figura 19: T .....iempo óptimo de adsorcion de plomo pb (ii) por el adsorbente chacko ( <i>hidralgirita</i> ). ....	112

Figura 20: Cantidad óptimo del adsorbente chacko (hidralgiritita) en la adsorción de plomo Pb (II).....	114
Figura 21: pH optimo en la adsorción de plomo Pb (II).....	116
Figura 22: Remoción de plomo Pb (II) (mg.l-1) en aguas residuales de mina con floculante cal artesanal (CaO).....	122
Figura 23: Remoción de plomo Pb (II) (%) en aguas residuales de mina con floculante cal artesanal (CaO).....	122
Figura 24: Remoción de turbiedad (ntu) en aguas residuales de mina con floculante cal artesanal (CaO).....	123
Figura 25: Diagrama de pareto estandarizada para remoción de plomo. ....	126
Figura 26: Grafica de efectos principales para remoción de plomo.....	127
Figura 27: Superficies de respuestas adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables tiempo-chacko (A-B).....	128
Figura 28: Superficies de respuestas adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables tiempo-chacko (A-B).....	129
Figura 29: Superficies de respuestas adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables cantidad adsorbente chacko-ph (A-C). ....	130
Figura 30: Superficies de respuestas adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables tiempo-cantidad adsorbente chacko-pH (A-B-C).....	131
Figura 31: Proceso de adsorción batch a diferentes concentraciones de plomo Pb (II).....	134
Figura 32: Modelo del isoterma de equilibrio de Freundlich para adsorción de Pb (II). ....	137
Figura 33: Modelo de langmuir para equilibrio de adsorción de Pb (II).....	139

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. ....	35
Tabla 2: Valores máximos admisibles de las descargas de agua residual no doméstica en el sistema de alcantarillado sanitario. ....	36
Tabla 3: Estándares de calidad ambiental para agua potable y recreacional. ....	37
Tabla 4: Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos. ....	37
Tabla 5: Coeficientes $C_D$ . ....	57
Tabla 6: Efecto del tiempo óptimo en la adsorción de plomo Pb (II) por el adsorbente chacko (hidralgirita) metodología. ....	80
Tabla 7: Efecto de la cantidad óptimo del adsorbente chacko (hidralgirita) en la adsorción de plomo Pb (II) metodología. ....	81
Tabla 8: Efecto del pH óptimo en adsorción de plomo Pb (II) metodología. ....	81
Tabla 9: Propiedades físicas y químicas de la cal oxido de calcio (CaO). ....	86
Tabla 10: Resultados de la curva estándar. ....	90
Tabla 11: Evaluación del efecto del tiempo óptimo en el proceso de adsorción de plomo Pb (II). ....	92
Tabla 12: Evaluación del efecto de la cantidad óptimo del adsorbente en el proceso de adsorción de plomo Pb (II). ....	92
Tabla 13: Evaluación del efecto del pH óptimo del adsorbente en el proceso de adsorción de plomo Pb (II). ....	93
Tabla 14: Valores de las variables óptimos para adsorción de plomo Pb (II). ....	93
Tabla 15: Variables intervinientes. ....	94
Tabla 16: Variable respuesta. ....	94

Tabla 17:	Matriz del diseño experimental.....	95
Tabla 18:	Composicion quimica arcilla chacko (hidralgirita) por difraccion de rayos x. (Puno-Asillo-San Miguel). ....	104
Tabla 19:	Pureza de la cal (CaO) y del hidroxido de calcio Ca(OH) <sub>2</sub> .....	107
Tabla 20:	Características físico – químicas de agua residual de mina. ....	108
Tabla 21:	Efecto del tiempo óptimo en la adsorcion de plomo Pb (II) por el adsorbente chacko (hidralgirita). ....	111
Tabla 22:	Tiempos de equilibrio en la adsorcion de plomo Pb (II). ....	112
Tabla 23:	Efecto de la cantidad óptimo del adsorbente chacko (hidralgirita) en la adsorción de plomo Pb (II). ....	113
Tabla 24:	Cantidad de adsorbente en equilibrio de la adsorcion de plomo Pb (II)...	115
Tabla 25:	Efecto del ph optimo en adsorción de plomo Pb (II). ....	115
Tabla 26:	Equilibrio de pH en la adsorcion de plomo Pb (II). ....	116
Tabla 27:	Remocion de plomo por adsorcion en aguas residuales de mina en el reactor sedimentador de flujo ascendente. ....	117
Tabla 28:	Remoción de turbiedad (ntu) y plomo Pb (II) en aguas residuales de mina con floculante cal artesanal (CaO). ....	119
Tabla 29:	Resultados de las variables respuesta del experimento.....	124
Tabla 30:	Análisis de varianza para remoción de plomo. ....	125
Tabla 31:	Valores óptimos de las variables respuesta.....	131
Tabla 32:	Proceso de adsorción batch a diferentes concentraciones de plomo Pb (II). ....	133
Tabla 33:	Proceso de adsorción batch a diferentes concentraciones de plomo Pb (II). ....	134

Tabla 34: Proceso de asorción batch a diferentes concentraciones de plomo Pb (II). .....	136
Tabla 35: Valores para el modelo de la isoterma de Freundlich. ....	137
Tabla 36: Capacidad máxima de biosorción ( $Y_m$ ) y afinidad sorbente-sorbato (b) para adsorción de Pb (II). .....	140
Tabla 37: Capacidad máxima de biosorción ( $Y_m$ ) de Cr (VI) empleando distintos materiales sorbentes. ....	140
Tabla 38: Remoción de plomo Pb (II) de agua residual de mina utilizando adsorbente chacko (hidralgiritita). ....	142
Tabla 39: Remoción de plomo Pb (II) de agua residual de mina por coagulación floculación utilizando cal artesanal y sedimentación por flujo ascendente. ....	142

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>CEC</b>	: Capacidad de intercambio cationico
<b>DAM</b>	: Drenaje acido de minas
<b>DBO</b>	: Demanda bioquimica de oxigeno
<b>ECAs</b>	: Estándares de calidad
<b>EPA</b>	: Agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos
<b>g</b>	: Gramo
<b>h</b>	: Hora
<b>ICA</b>	: Índice de calidad ambiental
<b>IR</b>	: Infrarojo
<b>L</b>	: Litro
<b>mg</b>	: Miligramos
<b>MINAM</b>	: Ministerio del ambiente
<b>ml</b>	: Mililitros
<b>nm</b>	: Nanometros
<b>NTU</b>	: Nephelometric turbidity unit
<b>pH</b>	: Potencial de hidrógeno
<b>RPM</b>	: Revoluciones por minuto
<b>SST</b>	: Solidos totales en suspensión



**μg** : Microgramos

**UTM** : Universal transverse mercator

**UV** : Ultravioleta

**Pb** : Plomo

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como **objetivos** determinar la remoción de plomo por adsorción, floculación - sedimentación de flujo ascendente batch utilizando chacko. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del adsorbente chacko, determinar las variables optimas de pH, concentración de soluto sorvente, tiempo de agitación y el isoterma de mayor ajuste en el proceso de adsorción discontinuo batch; la determinación del proceso adsorción floculación, sedimentación de flujo ascendente batch. Siendo la **metodología** donde primero se evaluó el adsorbente arcilla chacko por difracción de rayos x cuyos **resultados** son Oxido de silicio, 41,40%; Hidróxido silicato de aluminio y potasio, 51,15% y Silicato de potasio, sodio y aluminio 7,19%. Para los análisis del chacko se mandaron al laboratorio LABICER (UNI). Utilizando cal artesanal para el proceso de floculación-sedimentación cuya caracterización indica apariencia blanquecino sólido, de densidad de 1,2 a 1,3 g.mL<sup>-1</sup>, con pH 7,50 a 8,80; con pureza de cal útil, 65% y pureza como hidróxido de calcio, 66%. Determinando las variables optimas según nuestro objetivo, tiempo de agitación de equilibrio, concentración del soluto-sorbente, pH y el Isoterma de mejor ajuste. Se utilizó adsorbente arcilla chacko (*Hidralgirita*) para la remoción; **obteniéndose** el 83,33% de adsorción; empleando parámetros óptimos de 01 g.L<sup>-1</sup> de adsorbente chacko, a pH 5,5 y agitación por 70 minutos a 120 revoluciones por minuto. Para el tratamiento de agua residual de mina, se empleó 120 litros, utilizando 1 g.L<sup>-1</sup> de adsorbente chacko, pH 5,5 y agitación por 70 minutos a 30 revoluciones por minuto **obteniendo** una remoción de plomo 62,50% de adsorción. Para la remoción de turbiedad se procesó por floculación-sedimentación de flujo ascendente batch con Cal artesanal, utilizándose 120 litros de agua residual de mina, utilizando valores de parámetros óptimos de cantidad de adsorbente chacko, pH y tiempo de agitación 70 minutos a 120 revoluciones por minutos y a partir de este tiempo se utilizó 8,4 g, de hidróxido de calcio equivalente a 6,36 g de cal artesanal para flocular la turbiedad del agua residual de mina, con una agitación a 30 revoluciones por minuto, por 36 minutos. Teniendo como **conclusión** una remoción de plomo 68,80% de adsorción, y una eliminación de turbiedad de 89,13% unidades de turbidez nefelométrica.

**Palabras clave:** Aguas residuales, chacko, cal, remoción, plomo.

## ABSTRACT

The research work objective is to determine the lead removal by adsorption, flocculation - sedimentation of ascending flow batch using chacko. Characterize the chacko adsorbent of the physicochemical properties, determine the optimal variables of pH, concentration of sorbent solute, agitation time and the isotherm of greater adjustment in the batch discontinuous adsorption process; determine the adsorption process flocculation, ascending flow sedimentation batch. Being the methodology where chacko clay adsorbent was first evaluated by x-ray diffraction whose results are Silicon oxide, 41,40%, aluminum and potassium hydroxide silicate, 51,15% and potassium silicate, sodium and aluminum 7,19%. LABICER (UNI) was sent for the chacko analysis. Using artisanal lime for the flocculation-sedimentation process whose characterization indicates solid whitish appearance, density from 1,2 to 1,3 g.mL<sup>-1</sup>, with pH 7,50 to 8,80; with useful lime purity, 65% and purity as calcium hydroxide, 66%. Determining the optimal variables according to our objective, equilibrium agitation time, solvent-sorbent of the concentration, pH best adjustment and the of isotherm. Chacko clay adsorbent (Hydralgirite) was used for the removal; obtaining 83,33% adsorption; using optimal parameters of 1 g.L<sup>-1</sup> of chacko adsorbent, at pH 5,5 and agitation for 70 minutes at 120 revolutions per minute. For the mine waste water of treatment, 120 liters were used, using 1 g.L<sup>-1</sup> of chacko adsorbent, pH 5,5 and agitation for 70 minutes at 30 revolutions per minute obtaining a 62,50% lead adsorption removal. For the turbidity of removal was processed by flocculation-sedimentation of upward flow batch with artisanal lime, using 120 liters of mine wastewater, using optimal parameters of values of chacko adsorbent quantity, pH and agitation time 70 minutes to 120 revolutions per minute and from this time was used 8,4 g of calcium hydroxide equivalent to 6,36 g of artisanal lime to flocculate the turbidity of mine wastewater, with agitation at 30 revolutions per minute, for 36 minutes. Taking as a conclusion a removal of lead 68,80% of adsorption, and a turbidity of removal of 89,13% nephelometric turbidity of units.

**Keywords:** Wastewater, chacko, lime, removal, lead.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio propone el uso del Adsorbente y floculantes inorgánicos, arcilla chacko (*hidralgirita*) y cal (CaO) artesanal; para la remoción de iones plomo (Pb), de bajas concentraciones contenidos en el agua, tecnología que aprovecha recursos naturales de la región, siendo ventajosos debido a que no generan residuos tóxicos; por lo tanto, el presente desarrollo tecnológico industrial busca darle un valor agregado económicamente rentable. Dentro de este contexto, el desarrollo del trabajo de investigación utiliza la técnica de adsorción del plomo contenido en soluciones acuosas y aguas residuales minero-metalúrgicos; en una primera etapa de adsorción se utiliza arcilla chacko (*hidralgirita*), seguido del proceso de floculación - Sedimentación de flujo ascendente utilizando Cal artesanal (CaO).

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los metales pesados comúnmente son implicados en problemas de contaminación de aguas subterráneas entre estos elementos tenemos el: cromo, cadmio plomo. Así mismo la agencia para la protección ambiental, de los Estados Unidos (EPA), define como elementos peligrosos contenidos en el agua al Be, Hg, Pb, Cu, Mn, Ni, Zn, Co y Sn. (Volesky, 2003). El plomo en un medio acuoso es dependiente del pH del sistema y que el desplazamiento del equilibrio de Pb (II) a Pb (IV) depende de las condiciones del medio, el Pb (IV) es menos tóxico que el Pb (II), pero se oxida fácilmente y este es carcinogénico, el plomo en el agua se encuentra principalmente en forma de ion Pb (II) hidratado y  $Pb(OH)^+$ , en concentraciones que dependen del pH del medio.

Los metales pesados presentes en aguas residuales, son sustancias tóxicas capaces de causar graves daños en los seres vivos, por no ser biodegradables debido a que estas permanecen mucho tiempo en el entorno, acumulándose en el organismo de los seres

vivos y es necesario evitar su incorporación al entorno a través de vertidos contaminados. El plomo es un metal altamente tóxico por causar daños neurológicos en los seres humanos, el principal transportador del plomo desde los intestinos a varios tejidos celulares son los glóbulos rojos seguido por adsorción en la sangre, hígado y riñones (Alessio, 1988). Desde el punto de vista toxicológico, el plomo contenido en el agua es adsorbido por el tubo gastrointestinal que y se distribuye en el cuerpo en dos reservas: una activa en la sangre y tejidos blandos, y otra de almacenamiento en los huesos. Los síntomas y signos de un envenenamiento afectan fundamentalmente a tres sistemas: renal, nervioso central y al sistema hematopoyético. Barry (1988) indica que la toxicidad del plomo se debe a que produce alteraciones en la membrana celular y el de fijarse en la sangre, en los huesos, etc., debido a que el plomo desplaza al calcio por tener radios atómicos parecidos y por tener afinidad por estos grupos funcionales.

En nuestro medio el desarrollo industrial minero metalúrgico produce curso de aguas residuales contaminadas por metales pesados, así tenemos el plomo ionizado presente en estos efluentes industriales minero-metalúrgicos y de actividades urbanas. Muchas de estas industrias al verter sus aguas residuales no cumplen con las Normas de Estándares Nacionales respecto a los Límites Máximos Permisibles de la Calidad Ambiental para el Agua DS.021-2009-Vivienda con Valores Máximo Admisibles (VMA), de descargas al sistema del alcantarillado, para el caso del plomo el VMA en las aguas residuales es de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  como permisible y el DS N° 010-2010-MINAM, que regula los límites máximo permisibles (LMP) de la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas, para el plomo es de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . En el entorno de actividades minero - metalúrgicos, generalmente sus efluentes líquidos son descargados directamente a cauces naturales de ríos, provocándose serios problemas ambientales por el contenido de metales pesados al ser un contaminante no biodegradable.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué medida por el método de adsorción y floculación- sedimentación de flujo ascendente utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*) y floculante Cal artesanal (CaO), se remociona iones plomo contenido en soluciones acuosas y en aguas residuales de mina?

### 1.2.1. Problemas específicos

- ¿La Caracterización físico químico del adsorbente arcilla Chacko (*hidralgirita*) y el floculante Cal (CaO) artesanal, serán favorables para la remoción del ion plomo de soluciones acuosas y agua residual de mina?
- ¿En qué medida será favorable el uso de la arcilla Chacko (*hidralgirita*) para determinar las variables optimas de pH, concentración del soluto-sorbente, temperatura, tiempo de equilibrio y el Isoterma de mejor ajuste en el proceso de adsorción discontinuo batch, para la adsorción de plomo Pb (II) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina?
- ¿El proceso de floculación-sedimentación de flujo ascendente batch con Cal artesanal (CaO), influye en la remoción de plomo Pb (II) en aguas residuales de mina tratadas por adsorción?

### 1.2.2. Antecedentes

Zhou *et al.* (2005) indican que los metales pesados son elementos químicos con elevados pesos atómicos, a 44,95 uma y una densidad superior a  $5 \text{ mg.cm}^{-3}$ , excluyendo a los grupos alcalinos y alcalinotérreos. Volesky (2005) Los metales pesados comúnmente son implicados en problemas de contaminación de aguas subterráneas entre estos elementos tenemos el: cromo, cadmio, plomo, mercurio, arsénico y antimonio.

Ansari *et al.* (2004) en general la expresión de metales pesados se utiliza, cuando hay una connotación de toxicidad entre los elementos de plomo, mercurio, arsénico, zinc, cobre, hierro, cromo y níquel.

La agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), define como elementos peligrosos al Be, Hg, Pb, Cu, Mn, Ni, Zn, Co, y Sn (Volesky, 2005).

Chong *et al.* (1998) realizaron estudios sobre la remoción selectiva de iones de metales pesados en efluentes industriales por biosorbentes e intercambio iónico y por floculación. La tecnología es eficiente hasta trazos de impurezas en soluciones acuosas. El estudio incluyó la remoción de iones de Pb (II), Hg (II), Cd (III), Ni (II), Cr (III y IV) de varios efluentes industriales.

Aguilar *et al.* (2009) se refiere a la remoción de iones de  $Pb^{2+}$  de soluciones acuosas mediante adsorción en tetratitanato de potasio dopado con sílice. Las características estructurales, permiten la remoción de plomo de soluciones acuosas eluídas en una columna de adsorción, a niveles inferiores de las normas mexicanas. Se estudiaron los efectos del tiempo de saturación del adsorbente y el valor del pH de solución sobre la efectividad de remoción del plomo. El mecanismo de remoción de Pb, mediante el uso del adsorbente desarrollado, se considera como una combinación de procesos de adsorción, intercambio iónico y co-precipitación

Louzidou *et al.* (1992) demostraron que los cationes de plomo (II) pueden ser retenidos por zeolitas naturales. Los experimentos con la zeolita natural clinoptilolita, mostraron que altas concentraciones de los iones plomo (II) son removidos en soluciones acuosas en poco tiempo con cinéticas y floculación-adsorción de equilibrio.

Baricelli *et al.* (2000) propone un método alternativo para la remoción y posible recuperación de Cr (III) y del Pb (II) en vertidos líquidos industriales utilizando gel de

sílice modificado con 3 aminopropiltriétoxosilano (APG). El proceso propuesto consiste en la adsorción de cromo trivalente sobre un lecho de pellets de APG a temperatura ambiente y pH entre 3 y 4. Una vez saturado el adsorbente, éste se regenera mediante tratamiento con ácido sulfúrico, obteniéndose sulfato de cromo y de plomo.

En algunos trabajos sobre la adsorción de plomo se ha utilizado la alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Reyes y Suarez (2006) reportó una capacidad máxima de 14 mg Pb (II) por gramo. De alúmina cuando se usó una solución de 20 ppm de Pb (II).

Guzmán *et al.* (1992) obtuvieron y caracterizaron tres adsorbentes: aluminato de magnesio (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) tipo espinela, magnesia (MgO), y alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Estos materiales fueron valorados en su capacidad adsorbente para soluciones de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> a 50 ppm y plomo (II) de 40 ppm, bajo sistema agitado tipo lote y en adsorbedores de lecho empacado. La magnesia activada presentó mayor capacidad adsorbente alcanzando 91,66%, en el sistema agitado tipo lote durante 1,5 h, del 46% del plomo en un sistema de lecho empacado.

Tapia (2017) en la caracterización de la arcilla chacko (*Hidralgirita*) se determinaron sus propiedades químicas como óxidos y también como elementos teniendo los resultados en muestras un alto contenido de silicio, aluminio y hierro e indicando que su pared celular tiene mayor cantidad de grupos funcionales para formar ligandos con los iones de As. En la evaluación de las variables más influyentes de la adsorción de As, se obtuvieron condiciones favorables: tiempo de contacto 70 min, cantidad de adsorbente 0,2 g; pH 7,5 y temperatura 25 °C, de las cuales se seleccionaron como variables independientes a la cantidad de adsorbente, pH y Temperatura para su aplicación en el diseño experimental



Tejada (2017) concluye que el tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la Unidad Operativa Minera Santiago - B. ubica en Ananea Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto Ltda. Puno Perú. Donde el problema principal es la turbidez y la demora de la sedimentación de las aguas residuales de relaves mineros; el objetivo general es evaluar la sedimentación de sólidos totales en suspensión (SST) y reducir la turbidez de las aguas residuales de relaves mineros, utilizando cal como coagulante – floculante, empleando el método de pruebas de jarras (Jar-Test) en el laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de la Ingeniería de Química – UNAP. Las pruebas experimentales de turbidez y sedimentación de SST; las pruebas se realizaron en cuatro fechas, donde la turbidez inicial fue 81 900 NTU y 67 400 mg.L<sup>-1</sup> de SST, y el resultado final para un tiempo de 60 minutos, la turbidez es 19,39 NTU y 18,25 mg.L<sup>-1</sup> de SST, con una dosis optima de 0,3 g de cal por litro de agua residual, con una remoción de 99,976 % para turbidez y 99,973 % de remoción para SST.

### **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Hipótesis general**

Por procesos de adsorción utilizando arcilla chacko (*hidralgirita*), seguido de floculación- sedimentación con Cal (CaO) artesanal, se remociona el Plomo Pb (II) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina.

#### **1.3.2. Hipótesis específico**

- La caracterización de las propiedades físico químicos de la arcilla Chacko (*hidralgirita*) y la Cal (CaO) artesanal, influyen en la remoción del plomo Pb de soluciones acuosas y aguas residuales de minero metalúrgicos.

- La adsorción de plomo Pb de soluciones acuosas y aguas residuales de mina, utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*), dependen del control de las variables de pH, concentración inicial del soluto-sorbente, temperatura, tiempo de equilibrio, para determinar el Isoterma de mejor ajuste en el proceso discontinuo batch de adsorción.
- La remoción de plomo Pb de soluciones acuosas y aguas residuales minero metalúrgicos tratadas por adsorción, son mejoradas por el proceso de floculación-sedimentación de flujo ascendente batch con Cal artesanal (CaO).

#### 1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El desarrollo tecnológico e industrial minero metalúrgico, cada vez tiene mayor uso del recurso agua en los procesos de producción y una gran parte durante el proceso productivo son evacuados como aguas residuales con contenido de metales pesados y otras sustancias tóxicas propios del proceso minero metalúrgico y una buena cantidad de volúmenes de este recurso agua, son dispuestos a fuentes receptoras naturales o al curso natural de aguas, sin el debido tratamiento, provocando de esta manera efectos nocivos al medio ambiente y a la salud pública.

El presente trabajo de investigación busca contribuir a la solución de problemas de mitigar la contaminación por el metal pesado plomo Pb (II) en aguas residuales procedentes de centros minero metalúrgicos, los que crean conflictos ambientales, para tal problema ambiental se propone remover el Pb (II) de aguas residuales de mina, por el método de proceso de adsorción y floculación-sedimentación por flujo ascendente, utilizando la arcilla chacko (*Hidralgirita*) y cal (CaO) artesanal, en soluciones acuosas y en aguas residuales minero metalúrgicos, que permitan cumplir con las Normas Nacionales de Estándares de Calidad del Agua y de Emisiones de Efluentes Industriales.

En el trabajo de investigación se experimentaron procesos de adsorción por la arcilla chacko (*Hidralgirita*) y floculación–sedimentación de flujo ascendente por la cal artesanal (CaO); obteniéndose isothermas de equilibrio para la remoción de Pb (II) de soluciones acuosas y de agua residual de mina; tecnología que se propuso para contrastar con resultados frente al tratamiento por métodos convencionales ampliamente utilizados y reportados en antecedentes; así tenemos el método de precipitación, intercambio iónico con resinas y técnicas electrolíticas, adsorción con carbón activado etc., para la remoción de metales pesados de aguas residuales, los que son restringidos por sus altos costos que limitan su utilización a gran escala. Estas razones conllevan a dar un valor agregado a la arcilla chacko (*Hidralgirita*) y a la cal artesanal, recursos naturales de bajo costo y de grandes reservas en nuestra región, ya que el proceso de adsorción y de floculación–sedimentación constituye una tecnología alterna de baja inversión económica.

El desarrollo de la investigación, pretende contribuir a mitigar los impactos ambientales de contaminación de aguas con plomo Pb (II), según los Valores de Estándares Nacionales de Calidad del Agua con Límites Máximo Permisibles (LMP) (ECAs DS. 004-2017- MINAN), con Valores Máximo Admisibles en la evacuación de aguas residuales urbanas e industriales (VMA). (DS. 001-2015-VIVIENDA) y Límites Máximo Permisibles (LMP) para descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgico. DS N° 010-2010-MINAM.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar la remoción de Plomo Pb (II) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina, por procesos de adsorción utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*), seguido por proceso de floculación- sedimentación de flujo ascendente batch con Cal (CaO) artesanal.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- a. Caracterizar las propiedades físico químicas del adsorbente arcilla Chacko (*hidralgirita*) y el floculante Cal (CaO) artesanal
- b. Determinar las variables óptimas de pH, concentración del soluto-sorbente, tiempo de agitación de equilibrio y el Isoterma de mejor ajuste en el proceso de adsorción discontinuo batch, para la adsorción de plomo Pb (II) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina, utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*).
- c. Determinar por el proceso de adsorción floculación-sedimentación de flujo ascendente batch, la remoción de plomo Pb (II) en aguas residuales de mina, tratadas por adsorción utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1. Metales pesados

Los metales pesados son aquellos metales cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Los metales pesados son utilizados en la aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importantes son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn). (Harte *et al.*, 1989)

Los metales pesados son elementos con alto peso molecular, con una densidad superior a  $5 \text{ g.cm}^{-3}$ . Los metales una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante años, estos son altamente peligrosos para la salud por no ser química ni biológicamente degradables, estas afectan a las cadenas alimenticias, provocando un efecto de bioacumulación al no tener, la mayoría de éstos, una función biológica definida. El conocimiento del alto nivel de concentración de estos elementos es considerado como tóxicos y por lo tanto es objeto de interés particular el control de calidad en el medio ambiente (Yamamoto y Montero, 2004).

La expresión “metales pesados” se usa cuando hay una connotación de toxicidad por un metal. Entre los elementos que suelen citarse como metales pesados, se cuentan principalmente el plomo, el cadmio, el mercurio, el arsénico, el zinc, el cobre, el hierro, el cromo y el níquel (Ansari y col 2004).

### 2.1.2. Metal pesado plomo y su toxicidad

El estudio relacionaremos al problema ambiental y sus efectos en la salud humana, problema generado por el metal pesado plomo. Analizaremos la fuente de contaminación, relacionada con la actividad minera.

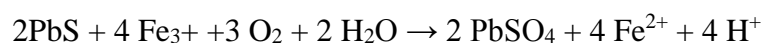
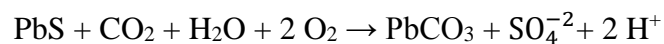
### 2.1.3. El plomo en la naturaleza



**Figura 1:** Galena (izquierda) y cerusita (derecha).

El plomo se encuentra presente en un gran número de minerales, siendo la más común el sulfuro de plomo (galena: PbS). Seguido de la cerusita (PbCO<sub>3</sub>) y la anglesita (PbSO<sub>4</sub>) tal como se expone en la figura 1.

El plomo es un metal difícilmente movilizable, bajo condiciones oxidantes la galena da origen a minerales tales como la cerusita y anglesita (Landrigan, 1990):



El principal riesgo del plomo relacionado con la minería, no solamente radica en la posible puesta en solución de este metal con el agua, que precipita rápidamente como carbonato o sulfato.

#### 2.1.4. Toxicidad y efectos del plomo sobre la salud

Desde el punto de vista toxicológico, el plomo es adsorbido por el tubo gastrointestinal y por vías respiratorias después de su inhalación, se distribuye en el cuerpo en dos reservas: una activa en la sangre y tejidos blandos y otra de almacenamiento en los huesos. Los síntomas y signos de un envenenamiento afectan fundamentalmente a tres sistemas: renal, nervioso central y al sistema hematopoyético. La encefalopatía por plomo se caracteriza por una instauración súbita de edema cerebral, como convulsiones, las secuelas pueden comprender retraso mental, trastornos de conducta y ocasionalmente ceguera afasia y hemiparasia (Orozco *et al.*, 2005).

#### 2.1.5. Efectos ambientales del plomo

Hay varias clases de plomo que difieren de sus efectos sobre los organismos. El plomo entra en el aire, agua y suelo en forma de Pb (II) y Pb (IV) a través de procesos naturales y actividades humanas. El nivel de plomo en el aire y el agua es generalmente bajo. En agua para beber el nivel de plomo es usualmente bajo lo mismo que en el agua de pozo; sin embargo, el agua de pozo puede ser contaminado por aguas subterráneas que a su vez captaron plomo por infiltraciones (Lankford *et al.*, 1992). Las fuentes naturales por lo general contienen plomo en concentraciones que varían notoriamente. Se pueden encontrar desde niveles tan pequeños como trazas hasta concentraciones importantes que contaminan definitivamente el recurso hídrico.

El plomo es un metal pesado en esencia tóxico; puede provocar en el hombre intoxicaciones agudas o crónicas. Es causa de la enfermedad denominada saturnismo.

### 2.1.6. Toxicidad del plomo

El plomo es un metal carente de valor biológico, es decir, no es requerido para el funcionamiento normal de los seres vivos. El polvo fino de plomo (10-100  $\mu\text{m}$ ) puede ser extremadamente peligroso por las siguientes razones:

- Se adhiere fuertemente a la piel.
- Es más soluble que el polvo grueso en el tracto gastrointestinal.
- Es fácilmente absorbible a través del sistema respiratorio.

Debido a su tamaño y carga, el plomo puede substituir al calcio ( $\text{Pb}^{2+}$ : 0,84 Å;  $\text{Ca}^{2+}$ : 0,99 Å), siendo su sitio de acumulación de manera preferente, los tejidos óseos. Esta situación es particularmente alarmante en los niños, que debido a su crecimiento incorporan altas cantidades de calcio y hacen que el plomo sea "removido" de los tejidos óseos, y que pase a incorporarse al torrente sanguíneo. Una vez ahí puede inducir nefrotoxicidad, neurotoxicidad, e hipertensión. Niveles de plomo en sangre de  $0,48 \mu\text{g.L}^{-1}$  pueden inducir en los niños:

- Daño durante el desarrollo de los órganos del feto.
- Daño en el sistema nervioso central.
- Reducción de las habilidades mentales e iniciación de desórdenes del comportamiento.
- Daño en las funciones del calcio (anteriormente mencionado).

A su vez, niveles del orden de  $1,2 \mu\text{g.L}^{-1}$  pueden inducir:



- Descenso del coeficiente intelectual. Problemas de desarrollo cognitivo y del comportamiento.
- Déficit neurológico que pueden persistir hasta la adolescencia.
- Elevación de los umbrales auditivos.
- Peso reducido en recién nacidos. Desarrollo cognitivo temprano anormal.

El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano. Puede causar, otros, daños y perturbaciones: de la biosíntesis de hemoglobina y anemia.

- Incremento de la presión sanguínea.
- Daño a los riñones.
- Abortos.
- Perturbación del sistema nervioso.
- Daño al cerebro.
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el espermatozoide.
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños.
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

En adultos que trabajan en ambientes expuestos a la contaminación con plomo, el metal puede acumularse en los huesos, donde su vida media es superior a los 20 años. La osteoporosis, embarazo, o enfermedades crónicas pueden hacer que éste plomo se incorpore más rápidamente a la sangre. Los problemas relacionados con la sobreexposición al plomo en adultos incluyen:

- Daño en los riñones.
- Daño en el tracto gastrointestinal.
- Daño en el sistema reproductor.
- Daño en los órganos productores de sangre.
- Daños neurológicos.
- Abortos.

### **2.1.7. Efectos del plomo sobre el medio ambiente**

El nivel de la contaminación antropogénica de plomo es más significativo que la natural. Todavía en muchos países en vías de desarrollo, la aplicación del plomo en gasolinas da lugar a un ciclo no natural de este metal: los motores de los coches combustionan el plomo como antidetonante, produciendo sustancias de plomo (cloruros, bromuros, óxidos) que son desprendidos al ambiente a través de los tubos de escape. Las partículas grandes precipitan en el suelo o en la superficie de aguas y las pequeñas se trasladan a largas distancias a través del aire y permanecen en la atmósfera. Parte de este plomo precipita de nuevo sobre superficies de la tierra cuando llueva (Eaton, 1994).

El plomo puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de dispositivos en los sistemas de transportes y de pinturas que contienen plomo. El plomo en el agua se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y la contaminación afecta por ejemplo al fitoplancton, que es fuente importante de producción de oxígeno en el agua consumidos por la masa biótica. El plomo es un elemento químico particularmente peligroso ya que no solo se puede acumular en organismos individuales, sino que también puede entrar en las cadenas tróficas alimenticias.

### 2.1.8. El Plomo en el agua

Wikipedia (2006) el plomo existe en dos estados de oxidación, Pb (II) y Pb (IV) y la estabilidad de estas formas es dependiente del pH del sistema y que el desplazamiento del equilibrio de Pb (II) a Pb (IV) depende de las condiciones del medio, el Pb (IV) es menos tóxico que el Pb (II), pero se oxida fácilmente y este es carcinogénico, el plomo en el agua se encuentra principalmente en forma de ion Pb (II) hidratado y Pb(OH)<sup>+</sup>, en concentraciones que dependen del pH del medio (Orozco *et al.*, 2005).

### 2.1.9. Legislación nacional

En el Perú se tienen diferentes normas para el control de metales pesados presentes en las aguas para consumo humano, en las aguas residuales urbanas, en efluentes industriales y en efluentes líquidos minero metalúrgico.

- Decreto supremo N°010-2010-MINAM (Tabla 1), Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.

**Tabla 1:** Máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.

Parámetro	Unidad	límite en cualquier momento	límite para el promedio anual
Ph		6- 9	6- 9
Sólidos totales en suspensión	mg/L		50
Aceites y grasas	mg/L		20
Cianuro total	mg/L		1 0,8
Arsénico total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04
Cromo hexavalente (*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre total	Mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L		2 1,6
Plomo total	Mg/L	0,2	0,16
Mercurio total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc total	mg/L	1,5	1,2

FUENTE: MINAM, 2010.

- Decreto supremo N°001-2015-VIVIENDA (Tabla 2.), valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

**Tabla 2:** Valores máximos admisibles de las descargas de agua residual no doméstica en el sistema de alcantarillado sanitario.

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	UMA PARA
			DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN -	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr <sup>+3</sup>	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Niquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfato	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1000
Sulfuros	mg/L	S <sup>-2</sup>	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrogeno aminiacal	mg/L	NH <sub>3</sub>	80
Ph	unidad	Ph	
Solidos sedimentables	ml/L/h	S.S	8.5
Temperatura	°C	T	<35

FUENTE: VIVIENDA, 2015.

- Decreto supremo N°004-2017-MINAM (Tabla 3.), estándares nacionales de calidad ambiental para agua en su categoría 1: poblacional y recreacional (parámetros inorgánicos).

**Tabla 3:** Estándares de calidad ambiental para agua potable y recreacional.

Parámetros	Unidades de medida	A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizados con desinsectación	Aguas que pueden ser potabilizados con tratamientos convencionales	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamientos avanzados	Contacto primario	Contacto secundario
<b>INORGANICOS</b>						
Aluminio	ml/L	0,9	5	5	0,2	**
Antimonio	ml/L	0,02	0,02	**	0,006	**
Arsenico	ml/L	0,01	0,01	0,15	0,1	**
Barlo	ml/L	0,7	1	**	0,7	**
Berilio	ml/L	0,012	0,04	0,1	0,04	**
Boro	ml/L	2,4	2,4	2,4	0,5	**
Cadmio	ml/L	0,003	0,005	0,01	0,001	**
Cobre	ml/L	2	2	2	2	**
Cromo total	ml/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	ml/L	0,3	1	5	0,05	**
Maganeso	ml/L	0,4	0,4	0,5	0,3	**
Mercurio	ml/L	0,001	0,002	0,002	0,1	**
Molibdeno	ml/L	0,07	**	**	0,001	**
Niquel	ml/L	0,07	**	**	0,02	**
Plomo	ml/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	ml/L	0,04	0,04	0,05	0,01	**
Uranio	ml/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Zinc	ml/L	3	5	5	3	**

FUENTE: MINAM, 2017.

- Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Sección de parámetros inorgánicos. Aprobado por decreto supremo N°031-2010-SA del 24 de setiembre del 2010 /Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental (Tabla 4)

**Tabla 4:** Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos.

Parametros Inorgancios	Unidad de medida	limite maximo permisible
1. Antiminio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2. Arsenico (nota 1)	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6. Cianuro	mg CN - L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro ( nota 2)	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Flúor	mg F- L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Niquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposicion corta 0,20 Exposicion larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015

FUENTE: MINSA, 2010.

### 2.1.10. Índice de calidad del agua

La Autoridad Nacional del Agua Perú, ANA (2001) da a conocer la información del Índice de Calidad del Agua (ICA), estimada a partir de los datos de la Red Nacional de Monitoreo, muestra que sólo el 6% de los cuerpos de agua monitoreados están en la categoría de excelente con valores de ICA mayores a 85 ppm y el 20% tiene valores de entre 70 y 84 ppm, lo cual se considera aceptable. La mayor proporción (51%) se encuentra en el intervalo de 50 a 69 ppm, que corresponde según el uso al que se destine:

- Requiere de tratamiento para uso como abastecimiento público.
- Es aceptable, mas no recomendable para uso recreacional.
- Puede afectar especies sensibles de vida acuática.
- No requiere tratamiento para su uso agrícola o industrial
- No tiene problemas para su uso con fines de navegación.

El 16% de los cuerpos de agua están en la categoría de contaminados con intervalos de ICA, de 30 a 49 ppm, valores con los que el líquido sólo podría tener uso industrial o agrícola con tratamiento. Por último, el 6% de los cuerpos de agua monitoreados se encuentran altamente contaminados, ICA menor a 30 ppm, que los vuelve prácticamente inaceptables para cualquier uso. Estos datos hacen relevante tomar el tema de la contaminación del agua, para la conservación del nivel de vida de la población en general, de no ser así, este recurso vital pronto escaseará afectando a los ecosistemas y a la población.

### **2.1.11. Drenaje ácido de minas DAM**

Drenaje es un término que hace referencia a la acción y efecto de drenar, a su vez, significa la salida de líquidos o efluentes por medio de cañerías, tubos o zanjas. El drenaje ácido de mina (DAM) es la formación de las aguas ácidas en las minas subterráneas por proceso de oxidación de la pirita; y a la facilidad que el aire entra en contacto con los sulfuros de las labores mineras (galerías y cruceros), existentes en las canchas de desmonte, también el DAM se forma por el contacto con los depósitos de relaves con el agua y con la atmósfera, produciéndose efluentes ácidos. Así mismo los factores que afectan a la generación ácida son: el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la distribución espacial de la pirita (Vílchez, 2005).

### **2.1.12. Tratamientos convencionales en la remoción de metales pesados de efluentes acuosos**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales no están diseñadas para manejar residuos tóxicos. Los metales y su toxicidad persisten incluso en los lodos después del tratamiento, por esto se debe eliminar en la fuente emisora, en un pre-tratamiento especial diseñado a tal efecto. Este tratamiento específico no debe tener un alto coste, ya que a menudo se enfrentaría con grandes volúmenes de efluente. Con el fin de eliminar los metales pesados del agua y a su vez reducir el impacto a la salud pública se han empleado diferentes tecnologías tradicionales (Navarro *et al.*, 2006).

En general muchas tecnologías son inadecuadas para la eliminación de metales pesados de efluentes industriales pues crean problemas secundarios como lodos extremadamente difíciles de tratar, costes prohibitivos o no son suficientemente efectivas (Gavrilescu, 2004). Brevemente describimos las tecnologías que han alcanzado mayor desarrollo:

### **A. Precipitación química**

Consiste en la eliminación del ion metálico indeseable disuelto, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo. Normalmente, las especies metálicas en disoluciones precipitan al aumentar el pH. El proceso tiene lugar al de solubilizarse el metal y formarse el precipitado, la capacidad de eliminación de los metales por precipitación química depende de dos factores (Landford, 1990).

- La solubilidad del metal, la cual es función del producto de solubilidad, pH del medio y concentración de la especie precipitante.
- La separación del sólido de la disolución acuosa.

### **B. Intercambio iónico**

Es el mecanismo de interacción electrostática, debido a las fuerzas de atracción de Coulomb que tienen lugar cuando un ion presente en una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil (Vigneswaran y col, 2004).

### **C. Procesos electroquímicos**

Están basados en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo (Chen, 2004).

### **D. Adsorción**

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). Por el que se le considera



como un fenómeno sub superficial. La sustancia que se concentra en la superficie se llama "adsorbato" y la fase que adsorbe se llama adsorbente. El proceso en el cual las moléculas se concentran en una capa interfacial o si las moléculas penetran al interior de la fase sólida, el proceso es conocido como absorción (Dabrowski, 2001).

- **Adsorción Física:** La adsorción física principalmente se deben a las fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente. Los adsorbentes se caracterizan principalmente por las propiedades de la superficie, como su área superficial y su polaridad. El ion es adsorbido por el sólido dependiendo de la carga relativa entre ambos. Este proceso puede ser lento o rápido, dependiendo de la composición del adsorbente, del adsorbato y de la temperatura.
- **Adsorción Química:** La adsorción química o quimiadsorción es debido a las fuerzas de naturaleza química, proceso que depende de la temperatura, de la naturaleza química del sólido y de la concentración de la especie a adsorber. En los sistemas naturales es frecuente que ambos se den en la misma superficie sólida (Volesky, 2003).

En el proceso de adsorción intervienen las propiedades de los compuestos que se requiere extraer, las características del adsorbente y las condiciones de contacto entre las fases líquida y sólida. Así mismo las propiedades del adsorbato tales como peso molecular, concentración, grupos funcionales, solubilidad en el líquido, al igual que las propiedades del sólido adsorbente (tales como distribución de tamaño de poros y los grupos químicos de superficie, entre otras) son determinantes en la mayor o menor afinidad del adsorbato por el sólido adsorbente (Tenorio, 2006).

### **2.1.13. El chaco y adsorción**

La calidad de la arcilla se califica por su elevada proporción de sílice y alúmina que le otorga las características y propiedades para procesos de adsorción calificados como eficiente. En la adsorción una sustancia se adhiere en la superficie externa de la arcilla debido a los enlaces iónicos no satisfechos con la superficie adherente externa que naturalmente buscan satisfacer estos enlaces, entre la arcilla adsorbente y el sorbato de carga opuesta. Se conoce que las partículas de arcilla llevan carga eléctrica negativa, mientras que las impurezas y toxinas (iones metálicos) llevan carga eléctrica positiva. La arcilla interactúa con diversas sustancias, en especial con sustancias polares como el agua e iones metálicos. Debido a esta propiedad, históricamente la arcilla ha sido empleada para recoger impurezas de la cerveza, vino y cidra (Barrio, 2011).

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1. Contaminación**

La contaminación es la introducción de cualquier material extraño, sustancia ajena o forma de energía (denominado contaminante), capaz de provocar daños irreversibles o no a un sitio determinado. Se denomina contaminación ambiental a la presencia de cualquier agente físico químico o biológico o combinación de los mismos provenientes de una fuente natural o por acción humana (Ramallho, 2003).

### **2.2.2. Clasificación de la contaminación**

La contaminación se puede clasificar de acuerdo a los medios donde se está afectando, puede clasificarse como: contaminación atmosférica, contaminación del agua y contaminación del suelo.

- Contaminación atmosférica: Ocasionada por las emisiones a la atmósfera terrestre.

Los contaminantes principales son los productos de procesos de combustión. Convencional en actividades mineras, de transporte, industriales, generación de energía eléctrica y calefacción doméstica.

- Contaminación del agua: Refiere a la presencia de contaminantes en el agua (ríos, mares y aguas subterráneas). Los contaminantes principales son los vertidos de efluentes urbanos, y efluentes industriales (presencia de metales y evacuación de aguas a elevada temperatura).
- Contaminación del suelo: Refiere a la presencia de contaminantes en el suelo, principalmente debidos a actividades industriales, vertido de residuos sólidos urbanos, productos fitosanitarios empleados en agricultura (abonos y fertilizantes químicos) y desechos de las actividades pecuarias.

### **2.2.3. Contaminación de aguas**

La contaminación del agua es a la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua, de modo directo o indirecto, que impliquen una alteración perjudicial de su calidad y para usos posteriores o de servicios ambientales. El agua, es de gran uso en la vida, no puede pensarse en una actividad sin la presencia de ella, ya sea, en actividades: domésticas del hombre, industriales, agrícolas, pecuarias, de la construcción, de transporte; en cada uno de las actividades mencionadas, el agua, en menor o mayor grado, se contamina.

#### 2.2.4. Definición del plomo

El plomo es un elemento químico de la tabla periódica, cuyo símbolo es Pb, (del latín plumbum) y su número atómico es 82, según la tabla actual, es un metal pesado de densidad  $11,4 \cdot 10^3 \text{ g.L}^{-1}$  a  $16^\circ\text{C}$ , de color azulado, que al empañarse adquiere un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fundición se produce a  $327,4^\circ\text{C}$ , hirviendo a  $1725^\circ\text{C}$ . Sus valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos (Wikipedia, 2019).

Actualmente la máxima concentración aceptada para el agua de bebida, en el Perú y por Organización Mundial de la Salud fijan la concentración máxima de plomo para el agua de consumo en un valor de  $10 \cdot 10^{-1} \text{ mg.L}^{-1}$  a partir de diciembre de 2003.

#### 2.2.5. Densidad aparente

Es definida como el peso (bajo condiciones específicas) de una unidad volumen de biomasa activado. La densidad aparente si es alto resulta ventajosa, debido a que existe un mayor número de gramos de adsorbente en menor espacio, facilitando la filtración.

#### 2.2.6. Coagulación

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se

encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no sólo elimina la turbiedad sino también las materias orgánicas y los microorganismos (Water, 2002).

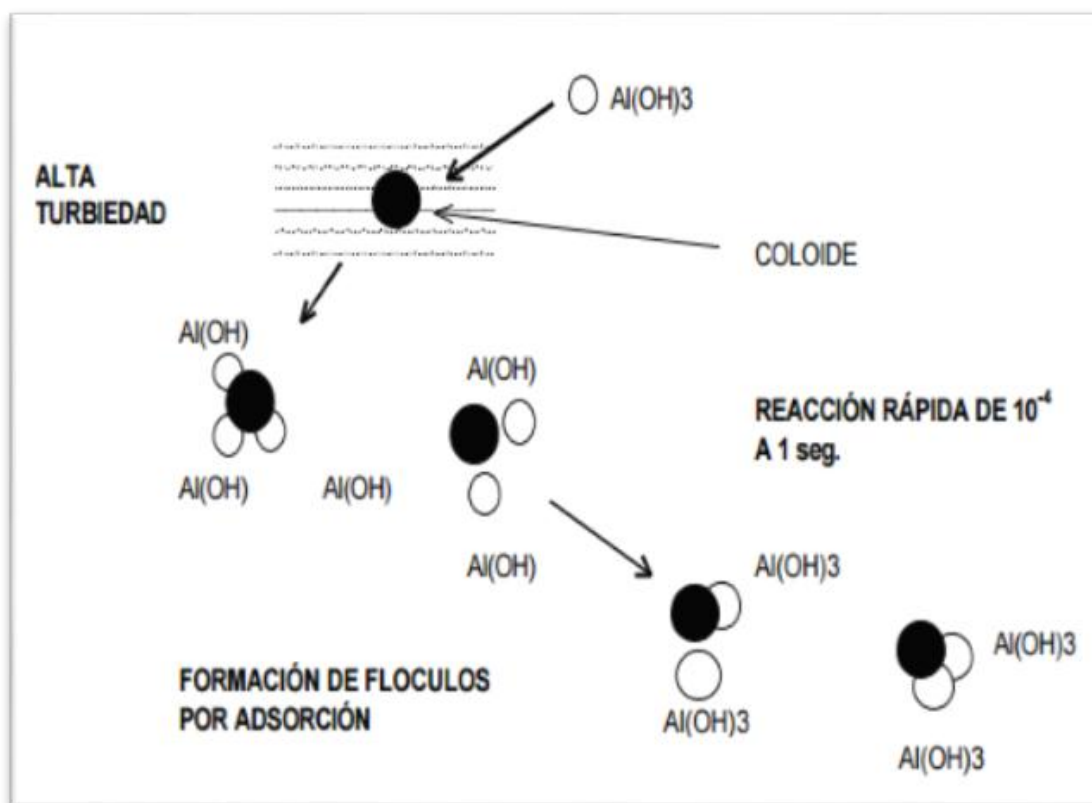
- Etapas o fases de la coagulación.

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas.

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido.
- Tipos de coagulación.

Se presentan dos tipos básicos de coagulación: Por Adsorción y Por Barrido (Water, 2002).

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 absorbidos por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea.



**Figura 2:** Coagulación por adsorción.

2. **Coagulación por barrido:** Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas de coloides es pequeña; en este caso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

- Zonas de coagulación.

Water (2002) la aplicación de una dosis creciente del coagulante al agua presenta diferentes zonas de coagulación:

- **Zona 1:** La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce coagulación.
- **Zona 2:** Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

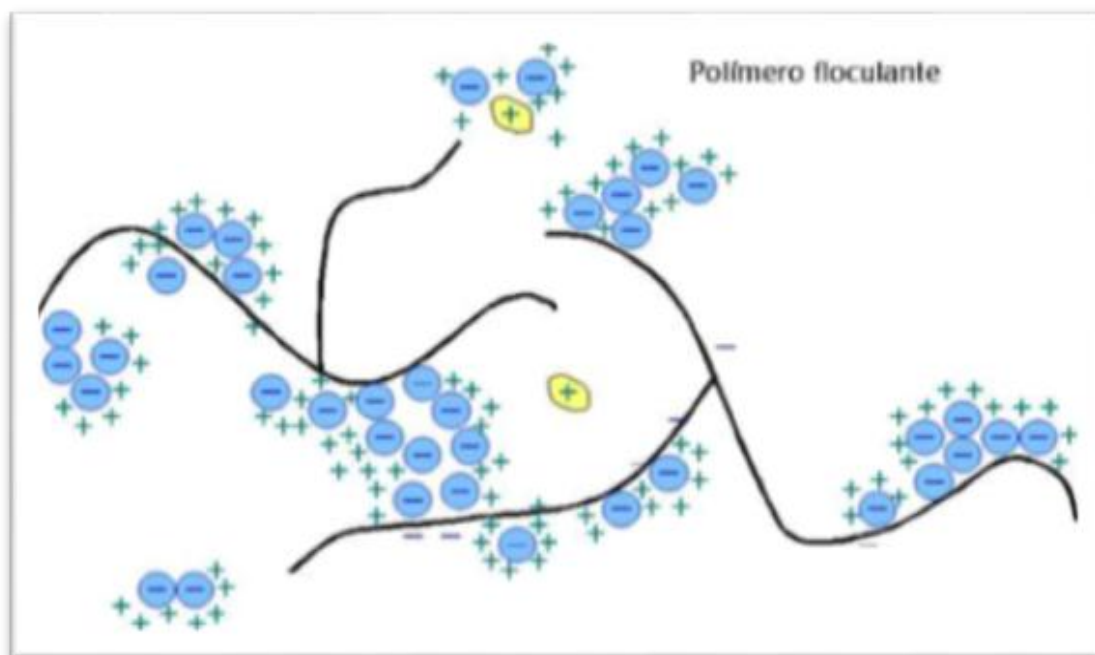
- **Zona 3:** Si se continúa incrementando la dosis, llega un momento en que no se produce una buena coagulación, ya que los coloides se re estabilizan.
- **Zona 4:** Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una súper saturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad.

### 2.2.7. Flocculacion

Lavín (2002) indica que la floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

#### Objetivos de la floculación

En la segunda etapa de la mezcla que corresponde a una mezcla lenta tiene por objeto permitir los contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color, la mezcla debe ser lo suficiente para crear diferencias de velocidad del agua dentro de la unidad pero no muy grande, ya que los flóculos corren el riesgo de romperse; aún si el tiempo no es el más óptimo para la floculación. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. El uso de un floculante es necesario para reunir los flóculos en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados (Lavín, 2002).



**Figura 3:** Esquema de un floculante.

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.

### 2.2.8. Floculantes

Smisek *et al.* (1973) los floculantes son polímeros o poli electrolitos con pesos moleculares muy elevados, moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros repetidos en cadenas largas. Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

- a) **Floculantes minerales:** Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.



b) **Floculantes orgánicos naturales:** Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Los alginatos, cuya estructura polimérica son:

- Los ácidos manuránicos.
- Los ácidos glucónicos.

c) **Floculantes orgánicos de síntesis:** Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de  $10^6$  a  $10^7$  g /mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- Aniónico (generalmente co-polímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
- Neutros o no iónicos (poli-acrilamidas).
- Catiónico (co-polímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

Soto *et al.* (2004) para la adición de coagulante y floculante se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Verificación del caudal de tratamiento.
- La dosificación de los productos químicos.
- El manejo de los Equipos / Aparatos de medida y los medios de medición.

La floculación normalmente suele incluirse en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, por agitación mecánica o con aire, principalmente cuando los objetivos del tratamiento es aumentar la eliminación de los sólidos en suspensión y de la DBO en las instalaciones de decantación primaria y se debe acondicionar el agua que contenga

vertidos industriales, para mejorar la eficacia de los decantadores secundarios, especialmente cuando se trata de tratamientos con lodos activados.

### **2.2.9. Fundamentos de adsorción**

La adsorción es un proceso en el cual una sustancia presente en una fase fluida es acumulada sobre una superficie sólida y entonces eliminada de la fase líquida. Los procesos de adsorción son utilizados en el tratamiento de agua potable para la eliminación de compuestos que causan color, olor y sabor, orgánicos sintéticos y subproductos de los procesos de desinfección. En el proceso de adsorción, al compuesto que será eliminado se le conoce como adsorbato y el sólido en el cual el compuesto es adsorbido se le conoce como adsorbente. Esta acumulación se puede llevar a cabo a través de reacciones químicas (quimisorción) o atracciones físicas (fisorción). La fisorción es un proceso causado por mecanismos de enlace no específicos, tales como las fuerzas de van der Waals y en la fase gas es similar a la condensación de vapor o a la precipitación líquida. Este tipo de adsorción es reversible, esto es, el adsorbato puede ser desorbido en respuesta a un cambio de gradiente de la concentración en la solución. El proceso de adsorción física tiene un calor de adsorción que varía entre 4 y 40 kJ/mol. La quimisorción es más específica ya que ocurre una reacción química que involucra una transferencia de electrones entre el adsorbato y el adsorbente y pueden ocurrir enlaces químicos con la superficie. El calor de adsorción de la quimisorción es, generalmente, mayor a 200 kJ/mol. La quimisorción es generalmente no reversible ya que el adsorbato está enlazado químicamente con la superficie del adsorbente y la desorción, si es que está ocurriendo, es acompañada por un cambio químico en el adsorbato (Crittenden, 2005).

### 2.2.10. Factores que influyen en la coagulación y floculación

Pérez (2002) es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de precipitación:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

La inter relación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los precipitantes a adicionar al agua.

#### 2.2.9.1. Influencia del pH

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución y es igual a:  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente y depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se

debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta. 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.

### **2.2.9.2. Influencia de la turbiedad**

La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0,2 a 5  $\mu\text{m}$ . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar una dosis menor de coagulante debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una pre sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.
- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

### **2.2.9.3. Influencia de las sales disueltas**

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las siguientes influencias sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

### **2.2.9.4. Influencia de la temperatura**

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de densidades (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; las temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

### **2.2.9.5. Influencia de la dosis del coagulante utilizado**

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 y la formación de micro flóculos 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 micro flóculos 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 de pruebas de jarra.

La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:

- La buena o mala calidad del agua clarificada.
- El buen o mal funcionamiento de los decantadores.

#### **2.2.9.6. Influencia de la mezcla**

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; 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 hecho 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 segundos 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 micro flóculos. La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.

### 2.2.11. Sedimentación

Grites (2000) la sedimentación es la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión, mediante la fuerza de gravedad. En el tratamiento de agua, dos son las formas más utilizadas para la sedimentación: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o después del ablandamiento. La sedimentación después de adición de coagulantes y/o floculantes es el proceso que se utiliza para remover sólidos sedimentables producto del tratamiento químico, para la remoción de color y turbiedad o remoción de metales pesados del agua. La sedimentación se usa en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión. La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento, con o sin el uso de Floculadores.

### 2.2.12. Tipos de sedimentación

Pueden considerarse tres tipos de procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión.

- a) **Sedimentación discreta.** Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, o sea, no se somete a un proceso coalescencia con otras partículas. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma y peso específico) no cambian durante el proceso. La deposición de partículas de arena en los desarenadores es un ejemplo típico de sedimentación discreta.
- b) **Sedimentación con Floculación.** La aglomeración de las partículas va acompañada con cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación. La

sedimentación que se lleva a cabo en los sedimentadores primarios es un ejemplo de este proceso.

- c) **Sedimentación por zonas.** Las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total presentando una interface distinta con la fase líquida. Ejemplo la sedimentación de lodos activos en los clarificadores secundarios y la de los flóculos de alúmina en los procesos de tratamientos de aguas.

### 2.2.13. Teoría de la sedimentación discreta

El Fundamento para la sedimentación de partículas discretas es la ley de Newton, se basa en la suposición de las partículas son esféricas con diámetros homogéneos. Cuando una partícula se sedimenta, va acelerándose hasta que las fuerzas que provocan la sedimentación, en particular el peso efectivo de la partícula, se equilibran con las resistencias o fuerzas de fricción ofrecidas por el líquido. Cuando se llega a este equilibrio, la partícula alcanza una velocidad de sedimentación constante, denominada velocidad final de sedimentación de la partícula.

$$V_s = \left[ \frac{4}{3} \left( \frac{g}{C_D} \right) \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} d \right]^{1/2} \quad (1)$$

Donde:

- $\rho_s$  : Densidad de la partícula.
- $\rho_l$  : Densidad del líquido.
- $g$  : Aceleración de la gravedad.
- $v$  : Volumen de la partícula,  $1/6\pi d^3$ .



$d$  : Diámetro de la partícula esférica.

$C_D$  : Coeficiente de fricción.

$V_s$  : Velocidad de sedimentación.

Para partículas esféricas, el coeficiente de fricción  $C_D$  está relacionado con el número de Reynolds  $N_R$

$$N_R = dV_s\rho_L/\mu_L \tag{2}$$

Dónde:  $\rho_L/\mu_L$  la densidad y viscosidad del líquido.

En general, el coeficiente  $C_D$  puede obtenerse por:

$$C_D = b/N_R^n \tag{3}$$

En la cual los coeficientes  $b$  y  $n$  son indicados en el Tabla 4.

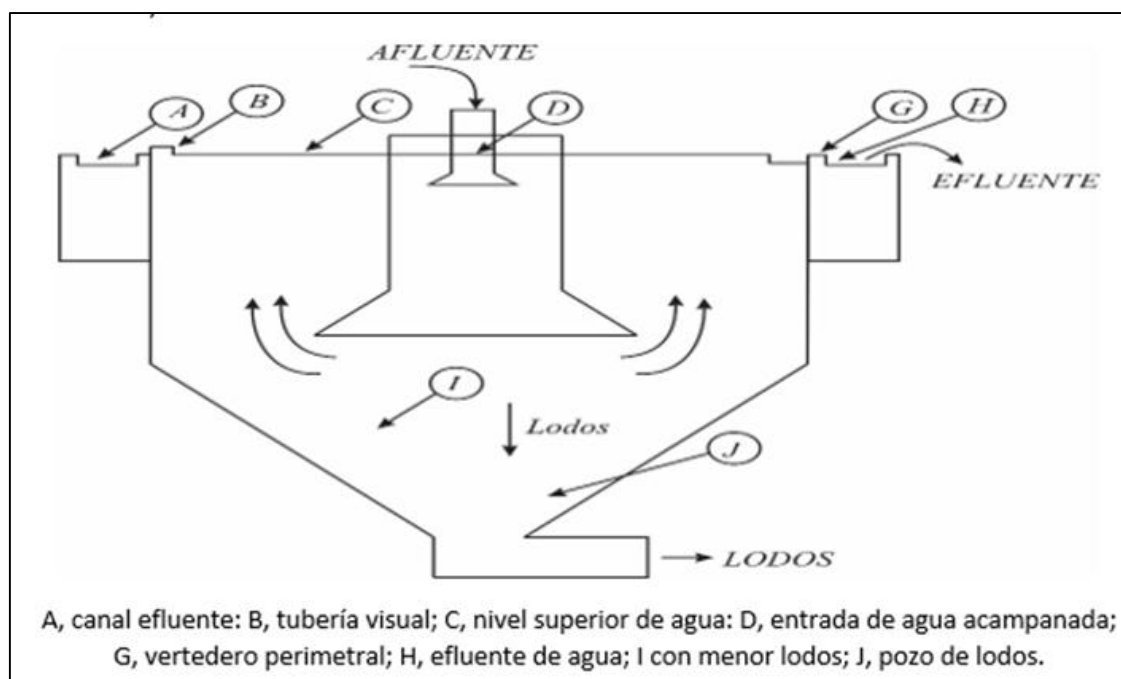
**Tabla 5:** Coeficientes  $C_D$ .

Zona	$b$	$n$	$C_D = b/N_R^n$
$N_R < 2$	24	1,0	$C_D = 24/N_R$
$2 < N_R < 500$	18,5	0,6	$C_D = 18,5/N_R^{0,6}$
$N_R > 500$	0,4	0,0	$C_D = 0,4$

FUENTE: Ramalho (2003).

#### 2.2.14. Sedimentadores de sección circular de flujo ascensional

En la figura 4, se tiene un tanque circular de flujo ascensional para tratamiento de aguas residuales, estos tanques permiten extraer lodos sin desocupar el tanque, y producen un buen efluente, se diseñan con cargas superficiales de 29 m/h, tiempo de retención de 30 minutos a tres horas.



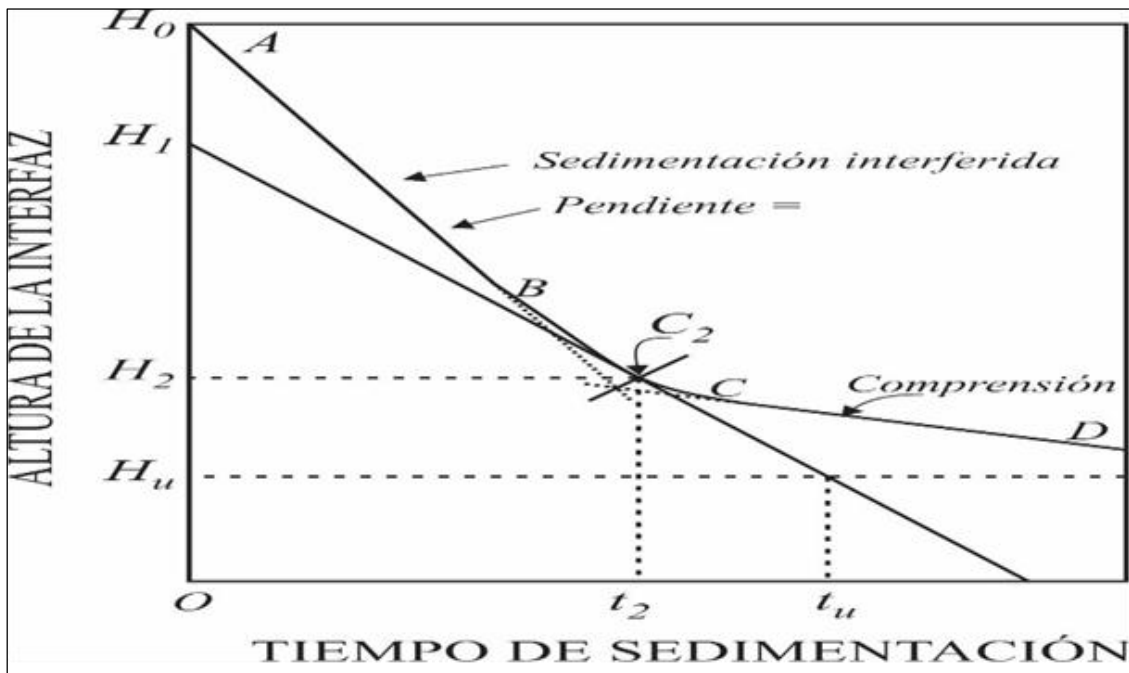
**Figura 4:** Tanque de sedimentación de flujo ascensional.

### 2.2.15. Ensayos de sedimentación en bach

Miranda (2010) indica que cuando una suspensión concentrada se sedimenta, existe una interferencia entre las trayectorias de velocidad de asentamiento de las partículas por su cercanía, presentándose un desplazamiento ascensional del fluido y el tipo de sedimentación conocido como sedimentación interferida, que al final forman parte de los lodos sedimentados. En la figura 6, se ilustra la localización de la interfaz con respecto al tiempo. En la zona A – B existe un asentamiento interferido del interfaz líquido – partículas; entre B y C se presenta la desaceleración o transición hacia la zona de compresión. La sedimentación en la zona C – D depende de la compresión del manto de lodos.

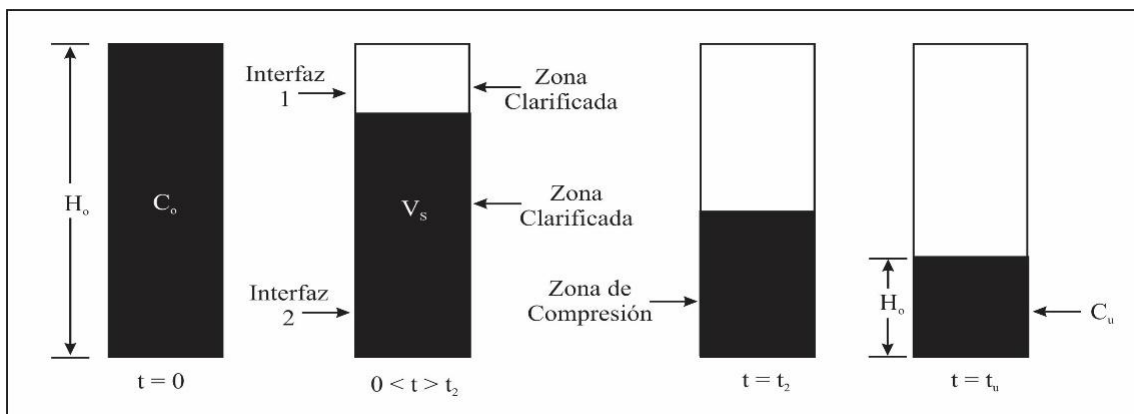
En un ensayo de sedimentación de cochada de una suspensión flocculentas concentrada, en una columna de sedimentación, se observa inicialmente una suspensión de concentración uniforme. A partir de  $t = 0$  se formará una interfaz a alguna profundidad por debajo de la superficie y se origina una zona de líquido clarificado sobre la interfaz.

Debajo de ésta permanece una suspensión uniforme con una velocidad de asentamiento específica ( $v_s$ ). En resumen, existe una zona superior de líquido clarificado, una segunda zona de sedimentación interferida de concentración uniforme, una zona de transición y una zona de compresión. A medida que el tiempo pasa todas las zonas desaparecen excepto la que contiene líquido clarificado y la de lodos, en cambio, todas se mantienen en un reactor de flujo continuo.



**Figura 5:** Curva de asentamiento para un ensayo de sedimentación batch.

La progresión de la sedimentación zonal o másica puede, visualizarse como se indica en las figuras 5 y 6.



**Figura 6:** Progresión de sedimentación zonal.

Si se empieza con una concentración inicial uniforme  $C_0$ , a medida que la suspensión se sedimenta surgen dos interfaces; sobre la superior hay una zona de agua clarificada, en tanto que por debajo de la inferior existe una zona de lodo concentrado después de  $t = t_2$ , ocurre una compactación lenta del lodo hasta que se alcanza el límite final de compactación.

#### **2.2.16. Modelos cinéticos adsorción – floculación**

Doran (1998) afirma que existen hasta cinco etapas que pueden influir decisivamente en la velocidad de adsorción-floculación, éstas son:

1. Transferencia desde el seno del líquido, hasta la capa límite del líquido que rodea a la partícula.
2. Difusión a través de la capa límite del líquido, que rodea a la partícula.
3. Transferencia a través del líquido existente en los poros de la partícula hacia las superficies internas.
4. El proceso de adsorción en sí mismo
5. La difusión superficial a lo largo de las superficies de los poros internos; es decir, la migración de las moléculas del floculante dentro de la superficie de floculación antes de la sedimentación.

Normalmente, en el perímetro exterior de la partícula se produce la floculación y arrastre del ion metálico.

### 2.2.17. Factores que afectan al proceso de adsorción

El proceso de adsorción se ve influenciado por diferentes factores como el pH, la temperatura, la naturaleza del adsorbente, el tipo y concentración de adsorbato, entre otros (Castro, 1998 e Hidalgo, 2004).

Los siguientes factores afectan el proceso de adsorción:

#### - **pH**

Los metales en disolución acuosa se encuentran en forma de diferentes especies químicas en función del pH de la disolución, de aquí la fuerte dependencia que existirá entre el pH de la disolución y la posibilidad de extracción del metal, ya que según la especie química los mecanismos de sorción varían (Castro, 1998).

Los metales son sustancias electropositivas ya que ceden cargas positivas a la superficie del sorbente el cual posee cargas negativas para lograr la adsorción, lo cual se facilita en soluciones ácidas. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4 (Navarro *et al.*, 2006).

#### - **Naturaleza del adsorbato**

El adsorbato es un factor influyente en el equilibrio de adsorción. Existe una regla general para predecir el efecto de la polaridad del soluto sobre la adsorción y consiste en que el soluto polar preferirá la fase que es más polar. En otras palabras, un soluto polar será fuertemente adsorbido por un adsorbente polar, cuando esté en un disolvente no polar (Castro, 1998).

Es decir, en el caso de las sales de metal utilizadas en este estudio presentan un carácter polar o alta solubilidad en el agua y la matriz de adsorción o adsorbente también es polar, si estos dos fueran sumergidos en una solución de alcohol, los metales serán fácilmente adsorbidos por la matriz debido al carácter apolar del alcohol.

Otro factor referente a la naturaleza del adsorbato en el caso de los metales, se refiere al radio atómico del metal, pues se cree que a mayor tamaño de este disminuye la afinidad por los ligandos de la pared (Quingbiao *et al.*, 2004).

#### - **Concentración inicial de metal**

Para determinar la efectividad de un material sorbente hay que conocer cuál es la cantidad máxima de metal (la capacidad máxima) que puede adsorber. Los materiales establecen diferentes equilibrios de extracción cuando se ponen en contacto con concentraciones distintas de metal.

Estos equilibrios dependen en todos los casos de las condiciones experimentales y son diferentes para cada temperatura, son equilibrios isotérmicos. Idealmente los modelos teóricos que se utilizan para describir los resultados experimentales deben ser capaces de predecir los procesos de sorción a bajas y altas concentraciones, además de permitir una interpretación física del mecanismo de sorción (Hidalgo, 2004).

#### - **Temperatura**

La temperatura es uno de los factores que más influye en los procesos de adsorción. La temperatura depende del calor de adsorción (cambio de entalpia), generalmente cuando la adsorción es de tipo físico, el calor de adsorción es negativo, lo que indica que la reacción es exotérmica y se favorece a bajas temperaturas. Por el contrario, cuando la adsorción es de tipo químico, el calor de adsorción es positivo,

indicando que el proceso es endotérmico y se ve favorecido a altas temperaturas. La adsorción en fase líquida indica que la temperatura afecta el equilibrio de adsorción de 2 formas (Martins *et al.*, 2004).

#### - **Tamaño de partícula**

La adsorción tiene lugar fundamentalmente en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (soluta) que se puede adsorber es directamente proporcional al volumen, y es bien conocido que este volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa (Garcés, 2012).

#### - **Tiempo de equilibrio**

Algunos estudios Fiol (2001), Horsfall y Abia (2003) han observado que el mecanismo de extracción de metal es un proceso que se desarrolla en cuatro pasos: (i) migración de los iones de metal desde la solución a la superficie del floculante; (ii) difusión a través la capa superficial de la masa del floculante; (iii) fijación en el grupo activo, (iv) difusión intra-partícula hacia el interior de la masa del floculante. Por tanto, para cada sistema metal-floculante se establecen equilibrios específicos y el tiempo de floculación-adsorción dependerá fundamentalmente de la naturaleza de esta relación.

### **2.3. EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN**

La adsorción en forma general consiste en la transferencia de un material sólido desde una fase líquida hasta una superficie sólida, donde se enlazan mediante fuerzas intermoleculares. La sustancia que se concentra en la superficie sólida se define como

adsorbato y el material sobre el cuál éste se acumula se define como adsorbente (resina, carbón, etc.).

Debido a la afinidad del sorbente por el sorbato, este último es atraída hacia el sólido y es contenida allí por diferentes mecanismos. La cantidad retenida en este proceso en el equilibrio es establecida entre la cantidad de sorbente y la diferencia de la especie sorbato y su porción remanente en la solución (residuo final o concentración en equilibrio Cf). El grado de la afinidad del sorbente por el sorbato es determinado por la distribución entre las fases sólidas y líquidas (Chu y Hashim, 2001).

Cuando seleccionamos un adsorbente para cualquier uso, consideramos el área superficial, el tipo de soluto y solvente que actúan en el proceso de adsorción, ya que estos se relacionan con los tipos de enlaces que se forman entre el sólido y el fluido. Dependiendo de dichos enlaces, la adsorción se describe como una adsorción física o como una adsorción química. La adsorción física se presenta cuando el adsorbato se adhiere a la superficie mediante fuerzas de Vander Waals (o sea, mediante fuerzas de dispersión o coulómbicas). La adsorción química se caracteriza por una compartición de electrones entre el adsorbente y el adsorbato que da por resultado la liberación de una cantidad de calor que es casi igual al calor de reacción. A causa de la compartición de electrones con la superficie, los materiales químicamente adsorbidos se restringen en la formación de una monocapa.

La adsorción logra el equilibrio cuando la concentración del soluto retenido por el adsorbente ( $q$ ) y la del soluto en solución ( $c$ ) no sufren mayores variaciones en el tiempo para las condiciones del proceso (Smedley, 2002).

La calidad del material sorbente es evaluada de acuerdo a qué cantidad del sorbato es atraída y retenida ('inmovilizada'). Para este propósito es costumbre determinar la



captación del metal ( $q$ ) por el biosorbente como la cantidad de sorbato inmovilizado por unidad de sorbente en fase sólida (peso, volumen, etc.).

### 2.3.1. Isotermas de adsorción

Los estudios de equilibrio de la adsorción, que corresponden a la transferencia de masa neta entre fases, se emplean para determinar la distribución del ión en el seno del sistema, entre la fase del fluido y la fase adsorbida sobre la superficie de un adsorbente sólido. La distribución de equilibrio por lo general se mide a temperatura constante y se conoce como isoterma de equilibrio de adsorción.

$$q = \frac{V*(C_i - C_f)}{W} \quad (2)$$

Donde:

$q$  : Capacidad de adsorción ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

$C_i$  : Concentración inicial del adsorbato ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

$C_f$  : Concentración final del adsorbato ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

$V$  : Volumen de la solución (L).

$W$  : Cantidad de adsorbente utilizada (g).

El porcentaje de adsorción se determina con la siguiente ecuación:

$$\%A = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100 \quad (3)$$

Donde:

$\%A$  : Porcentaje de adsorción

$C_i$  : Concentración inicial del adsorbato ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

$C_f$  : Concentración final del adsorbato ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

### 2.3.2. Modelos teóricos del ajuste de isothermas de equilibrio experimentales en el proceso de adsorción

Las isothermas de Langmuir y Freundlich son modelos teóricos extensamente más utilizados para describir la adsorción de un único componente. Ambos modelos son válidos solamente bajo ciertas condiciones y sus resultados no pueden ser extrapolados cuando se varían las condiciones del medio (Volesky, 2003).

#### a) Isotherma de Langmuir

Langmuir (1918) propuso un modelo que describe en forma cuantitativa el volumen adsorbido sobre una superficie abierta como la mica. Este tipo se encuentra en sistemas en los que el adsorbato se adsorbe en forma química, aplicado a adsorbentes micro-porosos en los que los capilares tienen un ancho de solo unos cuantos diámetros moleculares. Su modelo puede clasificarse a la adsorción localizada en forma de recubrimiento de mono-capa, ya que se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Todos los sitios del sólido tienen la misma actividad para la adsorción.
- No hay interacción entre las moléculas adsorbidas.
- Toda la adsorción se presenta por medio del mismo mecanismo y cada complejo del adsorbente tiene la misma estructura.
- El grado de adsorción, es de una capa mono-molecular sobre la superficie.
- La adecuación de la isoterma de Langmuir se puede efectuar escribiendo por separado las velocidades de adsorción y desorción del adsorbato sobre la superficie.

La ecuación matemática de Langmuir se muestra (Davis *et al.*, 2003).

$$q_e = \left( \frac{q_{max} * C_e * b}{1 + b * C_e} \right) \quad (4)$$

Para poder determinar experimentalmente los valores de  $q_{max}$  y  $b$  para cada pareja adsorbato y adsorbente se linealiza la ecuación (4) obteniendo la siguiente expresión:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * b} + \frac{1}{q_{max}} * C_e \quad (5)$$

También se puede utilizar:

$$\frac{q}{C_e} = bq_{max} - bq \quad (6)$$

Donde:

$q_e$  : Capacidad de adsorción en equilibrio ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

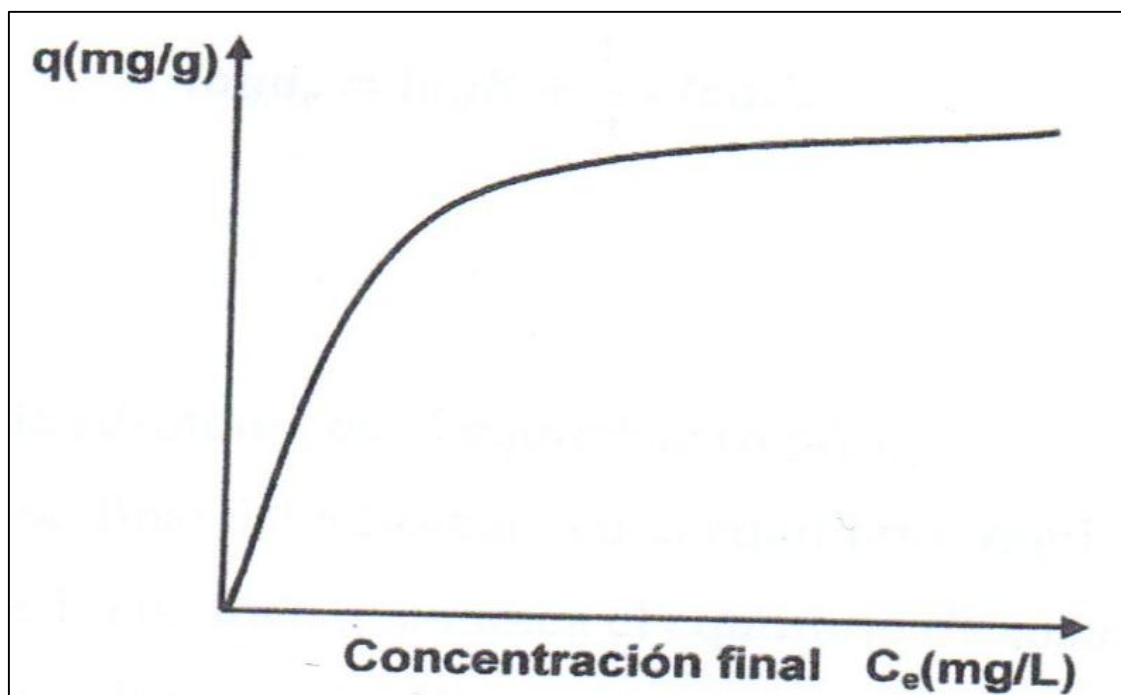
$C_e$  : Concentración final del adsorbato en el equilibrio ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

$q_{max}$  : Capacidad máxima de adsorción ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

$b$  : Constante de Langmuir relacionada con la afinidad del adsorbente por el adsorbato.

La constante  $q_{max}$  en la ecuación de Langmuir se puede interpretar como la cantidad máxima de sitios activos para la adsorción, que son ocupados totalmente cuando se alcanza la concentración de equilibrio  $C_{eq}$ .

La isoterma de Langmuir tiene la siguiente forma:



**Figura 7:** Isoterma de Langmuir (Villanueva, 2007).

#### b) Isoterma de freundlich

En 1926 Freundlich manifestó que la adsorción está en función de la concentración de equilibrio, sin tener en cuenta la presencia de otros iones en la disolución de equilibrio, sin tener en cuenta la presencia de otros iones en la disolución o variaciones del pH. Este modelo supone que la superficie del adsorbente es heterogénea y que las posiciones de adsorción tienen distintas afinidades, primero son ocupadas las posiciones de mayor afinidad y posteriormente se van ocupando el resto, de acuerdo a las siguientes hipótesis (Volesky, 2003).

- No hay asociación de moléculas después de ser adsorbidas en la superficie del material.
- No hay quimisorción.

La isoterma de Freundlich será válida cuando la adsorción es solamente un proceso físico y no haya un cambio en la configuración de las moléculas, cuando han sido adsorbidas según la ecuación (Davis *et al.*, 2003).

$$q_e = K * C_e^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

La ecuación (7) se linealiza a partir de su expresión en forma de logaritmos.

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} * \log C_e \quad (8)$$

Donde:

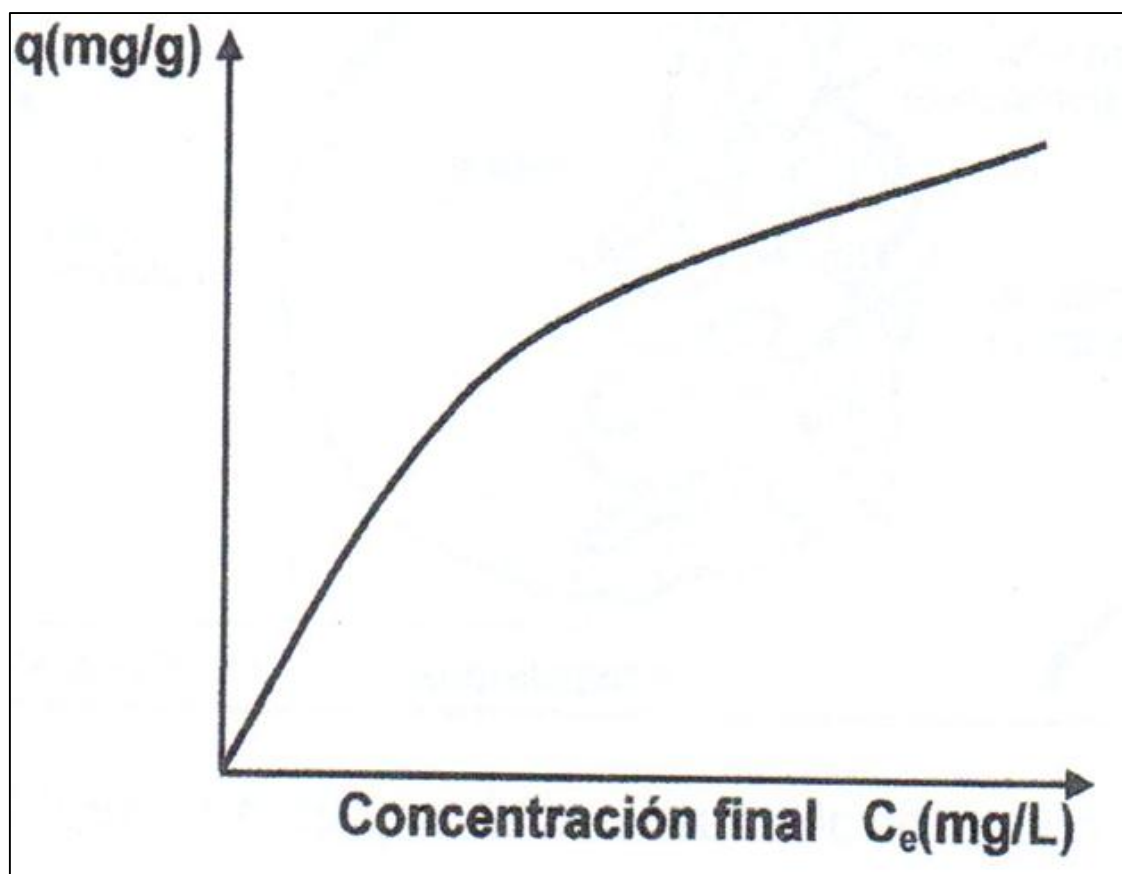
$q_e$  : Capacidad de adsorción en equilibrio ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

$C_e$  : Concentración final del adsorbato en el equilibrio ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

$K$  : Constante de Freundlich, es un indicador del equilibrio de adsorción.

$n$  : Intensidad de adsorción ( $n > 1$ ).

Esta linealización permite determinar la constante  $K$  y el valor  $1/n$ . Este modelo representa adecuadamente la adsorción para concentraciones bajas de metal ya que no admite fenómenos de saturación (Davis *et al.*, 2003).



**Figura 8:** Isoterma de Freundlich (Villanueva, 2007).

### 2.3.3. Arcilla Chacko (*Hidralgirita*)

#### 4.3.3.1. Distribución geográfica

El chacko (*Hidralgirita*) es una arcilla orgánica comestible, que ha sido encontrado en la sierra sur del Perú, mayormente en el departamento de Puno, en los distritos de Asillo, Acora, Azángaro y Tiquillaca (Aranibar, 2008).

En el altiplano al chaco se le conoce con los siguientes nombres según el lugar donde se encuentre: chiquiche, chaqo, chacko, chachako, pasa, pasalla, ñeke, kollpa, lillu, llinqui, ñinki, etc (Chacón, 2011).



**Figura 9:** Extracción de Arcilla Chacko (*Hidralgirita*).

#### 4.3.3.2. Fuente de minerales del chacko (*Hidralgirita*)

Muchos de sus componentes del chacko hace una sustancia importante en tratamientos terapéuticos, por tener componentes minerales genéricos en su estructura molecular (Rodenas, 2008) tales como:

- Contenido de óxido de silicio, el que le imparte el color gris.
- Contenido de óxido de aluminio el que le imparte la propiedad, absorbente y astringente, cuyo uso terapéutico es empleado en el tratamiento de la ulcera péptica.
- Alto contenido de óxido de calcio.
- Contenido de óxido de magnesio cuyo uso terapéutico es empleado por sus propiedades antiácidas y laxantes.
- Contenido de óxido de sodio, que regula la presión osmótica.

#### 4.3.3.3. Chacko (Hidralgiritita) en Adsorción

La arcilla, chacko por su elevada proporción en sílice y alúmina le otorga las propiedades características de adsorbente. Así mismo la forma en el que actúa la arcilla chacko es también de un doble proceso, de absorción y adsorción. En la adsorción una sustancia se adhiere en la superficie externa de la arcilla chacko por tener enlaces iónicos no satisfechos en la superficie adherente externa y naturalmente busca satisfacer estos enlaces, a otro ion de carga opuesta. Se conoce que las partículas de arcilla llevan cargas eléctricas negativas, mientras que los sorbatos o impurezas y toxinas llevan carga eléctrica positiva. La arcilla interactúa sus cargas iónicas con diversas sustancias, en especial con sustancias polares como el agua y las toxinas. Debido a esta propiedad, la arcilla chacko se ha empleado para adsorber impurezas de las bebidas como en la cerveza, vino y cidra. El proceso de absorción es similar al de una esponja, en este caso las sustancias ingresan dentro de la estructura interna de la arcilla (Barrio, 2011).

#### 4.3.3.4. Propiedades físicas y químicas de las arcillas

La arcilla cambia sus propiedades físicas y químicas, al exponerse al calor extremo es convertido en cerámica o material cerámico, de hecho, al calentarse a más de los 200°C las arcillas se transforman siendo incapaces a formar nuevamente parte a su plasticidad, a una suspensión coloidal y pierde su ductilidad, mientras sigamos incrementando el momento térmico irán surgiendo nuevos cambios físicos y químicos como la pérdida total de agua, encogimiento, y la formación de las diferentes fases de ordenamiento molecular que se producen hasta llegar a su punto máximo de fusión de 1700°C. Una vez transformada se ha creado una materia estable e insoluble que en lo general se podría definir molecularmente de la siguiente manera  $Al_6Si_2O_{13}$ , en su fase



alotrópica de la arcilla, esto es conocido como mullita o porcelanita, obtenida de 900 a 1000°C (Aranibar, García y Suarez, 2008).

El tamaño del grano determina algunas de las propiedades de la arcilla, existen otros factores que controlan las propiedades de la arcilla, como el agua que junto con otros aditivos modifican la plasticidad de la mezcla. Las principales propiedades de la arcilla son:

**a) Plasticidad**

La arcilla es esencialmente maleable, esto significa que puede deformarse bajo cargas de compresión, dicha cualidad se debe a la estructura laminar de las partículas de la arcilla en el agua. Entre más plástica es una arcilla, podrá el material que la conforma estar en suspensión coloidal de forma muy uniforme con mayor cantidad de agua, aumentando su volumen, esta relación de capacidad de suspensión coloidal y aumento de volumen es la causa primigenia de la plasticidad, sin embargo, si el agua es demasiada la plasticidad se pierde convirtiéndose en una materia pegajosa gracias a que las partículas de la arcilla pierden adherencia entre sí (Aranibar, 2008).

**b) Encogimiento**

La arcilla húmeda o pasta se endurece al estar en contacto con el aire, al desecarse pierde volumen. La arcilla encoje en dos etapas: durante el secado donde se genera el encogimiento más importante y notorio; y en una segunda etapa durante la primera cocción (llamada bizcochado).

Se considera que las piezas están totalmente secas hasta que estas estén dentro del horno a una temperatura de 100°C, sin embargo, no es sino hasta los 550°C cuando podría

decirse que el agua desaparece de su constitución química, es cuando la arcilla se vuelve dura y compacta (Aranibar, 2008).

**c) Baja conductividad térmica**

La capacidad de funcionar como aislante térmico se debe primordialmente a su composición química, aunque también a su estado físico de sólido. Ya sea en su estado de arcilla seca o húmeda, así como en su estado de material cocido o cerámico se les considera materiales termo-aislantes por su baja capacidad de conducción de calor lo que produce una resistencia notoria a las variaciones de temperatura, todas las arcillas tienen esta propiedad, pero algunas la presentan en mayor grado, ello gracias al contenido químico de alúmina y sílice, entre más alto sea el porcentaje de estos compuestos mayor será su propiedad respecto a la conductividad térmica (Aranibar, 2008).

**d) Capacidad de intercambio catiónico**

La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes (Aranibar, 2008).

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

**e) Capacidad de absorción**

La capacidad de absorción de las arcillas está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos

de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, es denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa adsorbida, y para una misma arcilla depende de la sustancia de que se trate (Aranibar, 2008).

#### **4.3.3.5. Otras arcillas especiales**

También pueden considerarse arcillas especiales las halloysitas, las arcillas halloysíticas también pueden considerarse caolines, y las hectoritas un tipo de bentonitas. Ambos tipos son muy escasos en el mundo.

Recientemente el termino arcilla especial ha sido restringido, algunos autores los llaman arcillas raras, como la sepiolita o hectorita, y bentonitas blancas. También lo usan para arcillas modificadas químicamente como las bentonitas activadas con tratamientos ácidos o organofílicas, quedando fuera de la denominación de arcillas especiales los caolines, bentonitas y, por supuesto la arcilla Hidralgiritita (Aranibar, 2008).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

El desarrollo del estudio de investigación; Remoción de Plomo Pb (II) de Soluciones Acuosas y Aguas Residuales de Mina, por Adsorción, Floculación-Sedimentación de Flujo Ascendente Batch, utilizando Chacko (Hidralgirita) y Cal (CaO), se realizaron en los Laboratorios de Tecnología de Aguas y Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias, de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano UNA – Puno.

Como material adsorbente se utilizó la arcilla Chacko (Hidralgirita), el análisis de su caracterización y análisis físico-químico fue realizado en el laboratorio de Análisis Químico, Consultoría e Investigación de la Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ciencias LABICER UNI Lima Perú y las pruebas experimentales de adsorción, sedimentación y adsorción del plomo (II) se realizaron en los laboratorio de Tecnología de aguas y laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias, de la facultad de Ingeniería Química de la UNA – Puno, ciudad universitaria.

#### 3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El periodo de duración del estudio experimental se desarrolló dentro del periodo de estudios de:

- Actividades de Implementación de materiales, fueron ejecutados desde el mes de Julio a Agosto del 2018; que comprenden las pruebas experimentales de caracterización del adsorbente chacko (*hidralgirita*) y cal (CaO) artesanal
- Actividades de los procesos de adsorción, floculación, sedimentación para remoción de plomo (II) de aguas residuales de mina, del sector minero Ananea de

la Provincia de San Antonio de Putina Región Puno, están comprendidos dentro de los meses de Septiembre a Octubre del 2018.

- Presentación de resultados y análisis del estudio de investigación, los que fueron ejecutados en los meses de Noviembre del 2018, cuya redacción del primer borrador de tesis fue desarrollado en Diciembre del 2018.

### **3.3. PROCEDENCIA DE MATERIAL UTILIZADO**

#### **3.3.1. Materia prima**

Las materias primas utilizados son:

- Materia prima Chacko (*Hidralgirita*), que proviene de los yacimientos de arcilla chacko del sector San Miguel Centro Poblado Sillota del Distrito de Asillo Provincia de Azángaro Región Puno, ubicadas geográficamente en las coordenadas UTM:

Norte: 8377146.00m N

Este: 356882.00m E

Como se muestra en la figura 10.



**Figura 10:** Lugar de extracción del chacho (*hidralgirita*).

- Materia prima Cal (CaO) artesanal, que proviene de los yacimientos de cal del Distrito de Samán Provincia San Román Región Puno.

### 3.3.2. Material de laboratorio y equipos

#### a) Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitados
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Probetas
- Pipetas
- Fiolas de 100 mL estandarizadas
- Embudos de vidrio y soportes de filtración
- Papel filtro Whatman N° 40
- Cronometro

- Termómetro

**b) Equipos**

- Balanza analítica (Mettler Toledo digital)
- Juego de Tamices (Tayler ASTM)
- Agitador magnético con censor de temperatura
- Espectrofotómetro UV-V-IR
- pH-metro digital
- Evaluador de Jarras (Tets Jarr) para floculación
- Sedimentador de Flujo ascendente

**c) Reactivos e insumos**

- Muestra de agua residual de mina, contaminada con plomo  $Pb^{+2}$
- Insumo Arcilla Chacko natural (*Hidralgirita*)
- Insumo Cal (CaO), artesanal
- Hidróxido de sodio
- Cianuro potásico
- Tartrato sódico potásico
- Sulfuro sódico
- Glicerina bi-destilada
- Agua destilada

### 3.4. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento del objetivo de la caracterización de las propiedades físico-químicas del adsorbente arcilla chacko (Hidralgirita), la cal artesanal (CaO) y la caracterización de agua residual de mina se determinaron sus características organolépticas luego se determinaron sus características químicas por difracción de rayos X.

Para determinar las variables óptimas de pH, concentración del soluto-sorbente, tiempo de agitación de equilibrio y el Isoterma de mejor ajuste en el proceso de adsorción discontinuo batch, para la adsorción de plomo Pb (II) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina, utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*) considerando según diseño estadístico 8 repeticiones con muestras de solución acuosa y agua residual minera se desarrollaron y se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 6:** Efecto del tiempo óptimo en la adsorción de plomo Pb (II) por el adsorbente chacko (hidralgirita) metodología.

muestra	t (min)	Co (mg/L)	W (g)	Cf (mg/L)	q (mg/g)	%A
1	10		2			
2	20		2			
3	30		2			
4	40		2			
5	50		2			
6	70		2			
7	90		2			
8	100		2			

FUENTE: Elaboración propia.



**Tabla 7:** Efecto de la cantidad óptimo del adsorbente chacko (hidralgirita) en la adsorción de plomo Pb (II) metodología.

muestra	W (g)	t (min)	Co (mg/L)	CF (mg/L)	q (mg/g)	%A
1	0,1					
2	0,2					
3	0,5					
4	0,8					
5	1					
6	2					
7	5					
8	8					

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 8:** Efecto del pH optimo en adsorción de plomo Pb (II) metodología.

Muestra	W (g)	pH	t (min)	Co (mg/L)	Cf (mg/L)	q (mg/g)	%A
1		8.10					
2		7.50					
3		7.00					
4		6.51					
5		6.10					
6		5.50					
7		5.00					
8		4.50					

FUENTE: Elaboración propia.

Para la determinación por el proceso de floculación-sedimentación de flujo ascendente batch, la remoción de plomo Pb (II) en aguas residuales de mina, tratadas por

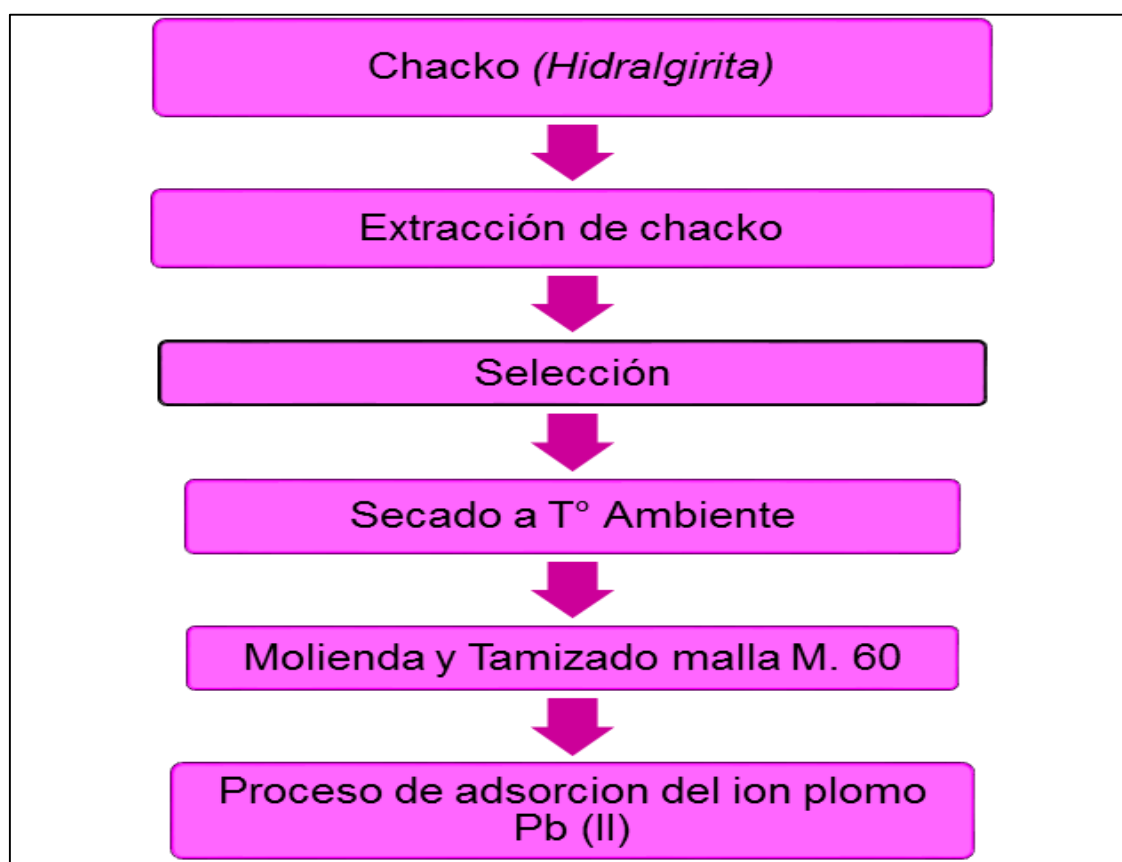
adsorción utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*) se desarrollaron teniendo las siguientes experiencias:

- Proceso de adsorción de plomo Pb (II) con arcilla chacko (*Hidralgirita*), de soluciones acuosas, para determinar las concentraciones óptimas de las variables pH, concentración del sorbente arcilla chacko (*Hidralgirita*) y tiempo de equilibrio del proceso de adsorción
- Proceso de adsorción de plomo Pb (II) con arcilla chacko (*Hidralgirita*), de soluciones acuosas y muestra de agua residual de mina
- Proceso de remoción de plomo Pb (II) por floculación con cal artesanal, de la solución muestra de agua residual de mina previamente sometidos a proceso de adsorción con la arcilla chacko (*Hidralgirita*)
- Diseño experimental de la adsorción-sedimentación del ion plomo (Pb) contenido en soluciones acuosas y muestra de agua residual de mina
- Determinación de las isothermas de adsorción

#### **3.4.1. Caracterización de la arcilla de chacko (*Hidralgirita*)**

- La caracterización química de la arcilla chacko (*Hidralgirita*) fueron determinados en los laboratorios de Análisis Químico, Consultoría e Investigación LABICER (Laboratorio 12) Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Ingeniería UNI- Lima. La Certificación de los análisis se exponen en el Anexo A
- La caracterización física de la arcilla chacko (*Hidralgirita*) fueron determinados en los laboratorios de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno.

- **Tratamiento Físico:** Extracción de la materia prima / Selección y separación de otras impurezas / Secado a temperatura ambiental hasta peso constante / Molienda en molino manual y tamizado en juego de tamices del cual se seleccionó la granulometría de Malla M-60, de 0,25 mm de diámetro de la arcilla chacko (*Hidralgirita*). Las operaciones de flujo del tratamiento físico se presentan en la figura 11.



**Figura 11:** Tratamiento del Chacko (Hidralgirita), para proceso de Adsorción de Ion Plomo Pb (II) de Aguas Residuales de Mina.

**Accesibilidad:** La vía de acceso principal a la zona de estudio, es la carretera Asfaltada Interoceánica Puno - Puerto Maldonado, a la altura del kilómetro 176 Centro poblado Progreso del Distrito de Asillo, Provincia de Azángaro y desde este punto se toma el acceso local con vía carrosable afirmada por una distancia de 14 km de orientación sur oriente, hacia el Centro Poblado de Sillota, Zona San Miguel Compuni.

### 3.4.2. Caracterización del agua residual de mina contaminada con plomo Pb(II)

Para el estudio se han tomado muestras de agua residual de mina de un punto ubicado en el Centro Poblado Minero de la Rinconada, Distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina Región Puno, cuya ubicación geográfica está en la coordenada UTM.

- Norte 8383450.00m N
- Este 451728.76m E

Como se muestra en la figura 12.



**Figura 12:** Lugar de muestreo de agua residual minero.

Para la caracterización del agua residual de mina se tomarán muestras por el método Muestreo Compuesto por 24 horas para tener un volumen de muestra compuesta de 10 litros. El análisis físico químico se desarrolló en los laboratorios de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno.

### 3.4.3. Caracterización de la Cal (CaO) Artesanal

#### - Lugar de extracción de la Cal (CaO) artesanal

La cal artesanal procede de las canteras de procesamiento, del Distrito de Saman Provincia de San Román Región Puno, ubicado a 6.5 Km Norte - Este de la población urbana de Samán.

#### - Accesibilidad

La principal vía de acceso a la zona de producción de cal (CaO), es por la carretera asfaltada Juliaca – Huancané, en el kilómetro 33.

En la caracterización físico-químico de la cal artesanal, se han determinado los siguientes componentes de:

- Componente Oxido de Calcio  $\text{CaO}$
- Componente hidróxido de Calcio  $\text{Ca(OH)}_2$
- Humedad
- Pureza de: Oxido de Calcio %  $\text{CaO}$  y de Hidróxido de Calcio %  $\text{Ca(OH)}_2$

Sus propiedades físicas y químicas de la cal oxido de calcio se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9:** Propiedades físicas y químicas de la cal oxido de calcio (CaO).

Formula Química	CaO
Peso molecular	56 g.mol <sup>-1</sup>
Estado	Sólido
Apariencia	Blanco
Densidad	1,2 – 1,3 g.ml <sup>-1</sup>
pH	7,5 - 8,80
Solubilidad en agua	g.L <sup>-1</sup> a °C
Pureza cal útil %	65 %
Pureza Ca(OH) <sub>2</sub> %	66 %

FUENTE: Laboratorio Químico Empresa SGS Arequipa.

#### 3.4.4. Tratamiento de la Cal (CaO)

##### Tratamiento físico - químico de la cal CaO

Para el tratamiento físico - químico de la cal (CaO) artesanal, se realizó las siguientes operaciones: Adquisición de la materia prima, selección, secado, remolienda, tamizado y preparación de disoluciones de cal para procesos de floculación.

##### a) Adquisición de la materia prima cal artesanal

La cal artesanal se ha adquirido en el centro de procesamiento de la cal en el Distrito de Samán Provincia San Román Región Puno.

##### b) Selección

La cal artesanal se procedió a seleccionar de otras impurezas, separando de estas, tales como de restos de piedra calcárea no procesado y de otros componentes no deseados.

##### c) Secado

Seguidamente se dejaron secar la cal artesanal a temperatura ambiente por 2 días, hasta peso constante.

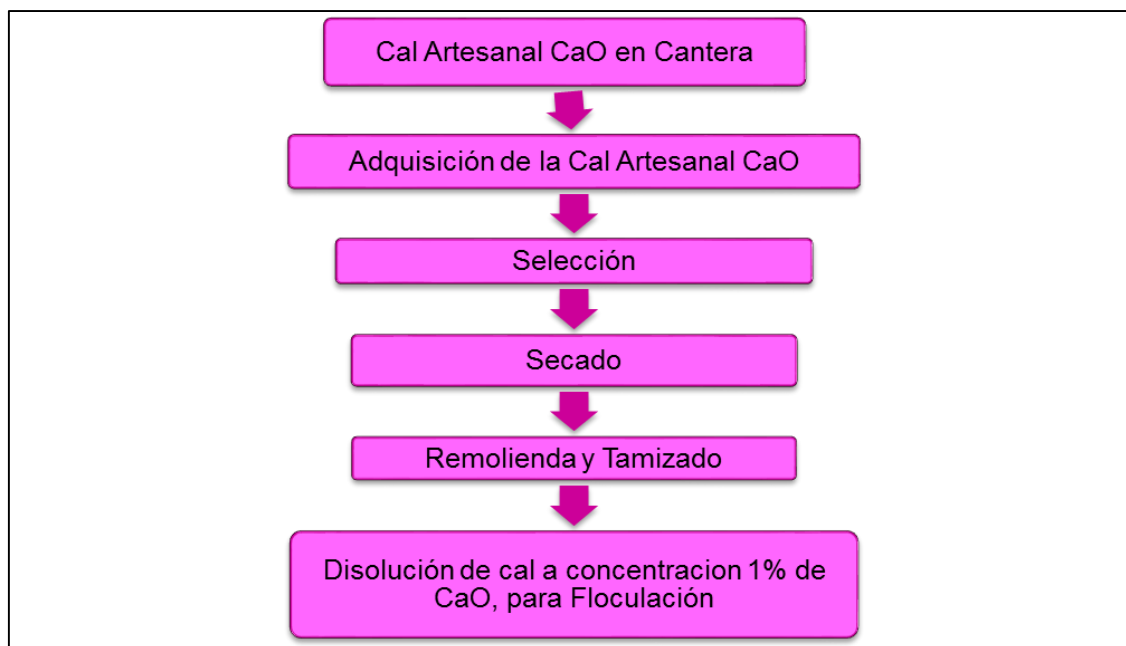
**d) Molienda y tamizado**

Para la operación de remolienda se realizó utilizando un molino de disco manual, luego se procedió a tamizar en malla M de serie estándar ASTM para obtener granulometría de alta finura de mm de cal artesanal.

**e) Preparación de la solución de lechada para proceso de floculación**

La cal artesanal CaO (Oxido de Calcio) se utilizó como material floculante, para lo cual se ha seleccionado y sometido a la operación de remolienda y tamizado. A partir de la cal tamizada se prepararon disoluciones acuosas a concentración de CaO de 1% presentado en forma de hidróxido de calcio (Lechada de cal)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Con dicha concentración se determinó la dosis óptima de floculación, para su sedimentación por flujo ascendente.

Las diferentes operaciones de preparación de la cal (CaO) artesanal y su acondicionamiento para la floculación sedimentación del agua residual de mina, el que fue previamente tratada con arcilla Chaco (*Hidralgirita*), para adsorción de plomo y posteriormente se procede al proceso de floculación y sedimentación por flujo ascendente, lográndose la clarificación de turbiedad del agua tratada y con sedimentan de lodos con carga de Plomo remocionado del agua residual de mina. El tratamiento de la cal (CaO) artesanal para el proceso de floculación, sedimentación se presentan en el siguiente diagrama figura 13.



**Figura 13:** Proceso de tratamiento de la cal artesanal (cao).

### 3.4.5. Tratamiento en el reactor sedimentador de flujo ascendente

En el reactor sedimentador de flujo ascendente se evaluaron:

- La remoción del plomo Pb (II) y la turbiedad (NTU) en el efluente y la calidad del agua tratada.

Para la remoción del plomo Pb (II) se utilizaron los valores óptimos determinados, de los parámetros de tiempo de agitación, cantidad del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) y pH. El proceso de tratamiento se realizó para un tiempo de 70 minutos de agitación en el reactor de flujo ascendente, con control de la cantidad del adsorbente chacko y del pH, a una agitación de 120 RPM; pasado el tiempo óptimo de agitación, se adiciono la dosis optima del floculante cal artesanal, para una floculación sedimentación por el mismo tiempo de residencia óptimo de 70 minutos; luego transcurrido este tiempo se evaluó la concentración final del plomo Pb (II) y la turbiedad NTU, en el efluente del agua residual de mina tratada.



Características del Reactor sedimentador de Flujo Ascendente:



**Figura 14:** Sedimentador de flujo ascendente de sección cilíndrica.

- Material : Acero inox.
- Tipo Acero inox : 314 Austenítico
- Caudal de Flujo : Bacht de agua residual.
- Agitación : Mecánico, Tipo Turbina.
- Velocidad de agitación : De 100-120-140 R.P.M.
- Floculante utilizado : Cal artesanal.



**Figura 15:** Componentes del reactor sedimentador de flujo ascendente.

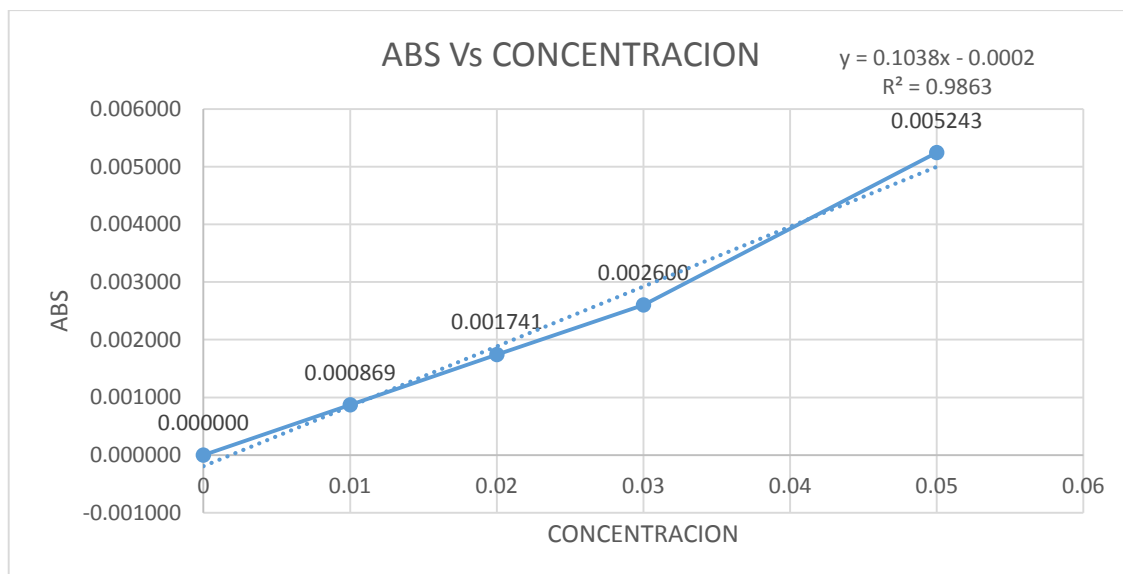
### 3.4.6. Método espectrofotométrico para la determinación de plomo Pb(II) en muestra de agua

Para la determinación de Plomo (II) en el agua se usó el método de sulfuro sódico para ello se realizó la curva estándar en lo cual se muestra los resultados en la tabla 10 y graficado en la figura 16.

**Tabla 10:** Resultados de la curva estándar.

MUESTRA	CONC Pb(II) mg.L <sup>-1</sup>	%T	ABS
0	0	100	0.000000
1	0.01	99.8	0.000869
2	0.02	99.6	0.001741
3	0.03	99.5	0.002600
5	0.05	98.8	0.005243

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 16:** grafica de la curva estándar.

En el cual el método del sulfuro sódico consiste en agregar a nuestras muestras de agua residual de mina soluciones de tartrato sodico para eliminar hierro y cobre luego adicionar hidróxido de sodio y solución de cianuro de potasico luego agitaremos con el agitador magnético, una vez que nuestra muestra este lista se adicionara sulfuro sodico luego este resultado leeremos espectrofotométricamente a 380nm.

### 3.5. PROCESO DE ADSORCIÓN – SEDIMENTACIÓN DEL ION PLOMO PB(II)

Para las pruebas de adsorción de plomo Pb (II) se desarrolló el siguiente procedimiento:

- 1) Para determinar el efecto del tiempo óptimo de agitación o tiempo de residencia: en 08 matraces Erlenmeyer, para cada uno de los matraces se toma un volumen de 100 mL, de agua con contenido de plomo Pb (II) con una concentración inicial ( $C_0$ ) de  $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$ , y a esta se les adiciona 2 g del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) en base al antecedente de (Tapia, 2017), a pH 6, a una velocidad de agitación a 120 RPM, para diferentes tiempos de agitación de t (min) 10; 20; 30;

40; 50; 60; 70; 90; 100. Al finalizar el proceso de adsorción se enviaron las 08 muestras para su análisis del plomo Pb (II) adsorbido y de esta elegir el tiempo óptimo de 30 minutos para el proceso de adsorción.

**Tabla 11:** Evaluación del efecto del tiempo optimo en el proceso de adsorción de plomo Pb (II).

Nº muestras	Adsorbente (g)	pH	Adsorbente (Malla-Nº60)	Co[Pb] (mg.L <sup>-1</sup> )	Volumen Solución (mL)	Tiempo contacto (Minutos)	T (°C)
8	2	6	0,25 mm	0,6	100	10 a 100	25

FUENTE: Elaboración propia.

2) Para determinar el efecto de la cantidad óptimo del adsorbente chacko (*Hidralgirita*): en 08 matraces Erlenmeyer, para cada uno se toma un volumen de 100 mL, de agua con contenido de plomo Pb (II) con una concentración inicial (Co) de 0,6 mg/L, seguidamente se adiciona a cada uno de los matraces las cantidades de 0,1; 0,2; 0,5; 0,8; 1; 2; 5 y 8, g del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) a pH 6, a una velocidad de agitación a 120 RPM, para un tiempo de agitación optimo determinado de 30 (min). Al finalizar el proceso de adsorción se enviaron las 08 muestras para su análisis del plomo Pb (II) adsorbido y de esta elegio la cantidad de 1g del adsorbente optimo obtenido para el proceso de adsorción.

**Tabla 12:** Evaluación del efecto de la cantidad optimo del adsorbente en el proceso de adsorción de plomo Pb (II).

Nº muestra	Adsorbente (g)	pH	Adsorbente Malla(Nº60)	Co[Pb] (mg.L <sup>-1</sup> )	Volumen Solución (mL)	Tiempo contacto (Minutos)	T (°C)
8	0,1 a 8	6	0,25 mm	0,6	100	30	25

FUENTE: Elaboración propia.

- 3) Para determinar el efecto de pH óptimo: En 08 matraces Erlenmeyer, para cada uno se toma un volumen de 100 mL, de agua con contenido de plomo Pb (II) con una concentración inicial (Co) de 0,6 mg.L<sup>-1</sup> y luego se adiciona a cada uno de los matraces la cantidad optima de 1g del adsorbente chacko (*Hidralgiritita*) a diferentes valores de pH de 8,1; 7,5; 7; 6,51; 6,1; 5,5; 5 y 4,5; a una velocidad de agitación a 120 RPM, para un tiempo de agitación óptimo de 30 (min). Al finalizar el proceso de adsorción se enviaron las 08 muestras para su análisis del plomo Pb (II) adsorbido y de esta se eligió el pH óptimo de 5,5 obtenido para el proceso de adsorción.

**Tabla 13:** Evaluación del efecto del ph optimo del adsorbente en el proceso de adsorción de plomo Pb (II).

N° muestra	Adsorbente (g)	pH	Adsorbente Malla(N°60)	Co[Pb] (mg.L <sup>-1</sup> )	Volumen Solución (mL)	Tiempo contacto (Minutos)	T (°C)
8	1	8,1 a 4,5	0,25 mm	0,6	100	30	25

FUENTE: Elaboración propia.

- 4) Una vez obtenido los valores de las variables optimas influyentes para el proceso de adsorción; se evaluaron en un volumen de 200 Litros de muestra de agua residual de mina, en el reactor de floculación sedimentación de flujo ascendente en el que se determina, la adsorción de plomo Pb (II) con los valores de las variables optimas determinadas de:

**Tabla 14:** Valores de las variables óptimos para adsorción de plomo Pb (II).

Volumen Muestra AR. (L)	Co[Pb(II)] (mg.L <sup>-1</sup> )	Masa Adsorbente Chacko (g.L <sup>-1</sup> )	Malla Adsorbente M-(N°60)	pH	Tiempo Agitación (min) 120RPM
200	0,6	1,0	0,25 mm	5,5	30

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA ADSORCIÓN DEL ION PLOMO PB(II)

Se consideraron:

#### 3.6.1. <Tipos de variables y niveles para el diseño experimental

Para variables intervinientes:

**Tabla 15:** Variables intervinientes.

Símbolo	Variables Intervinientes	Niveles		Unidad
		-1	+1	
<b>X<sub>1</sub></b>	Tiempo	30	70	Minutos
<b>X<sub>2</sub></b>	Chacko	0,5	1	Gramos
<b>X<sub>3</sub></b>	pH	5,5	8	---

FUENTE: Elaboración propia.

Para la variable Respuesta:

**Tabla 16:** Variable respuesta.

Símbolo	Variable Respuesta	Unidad
<b>Y</b>	Plomo	Gramos

FUENTE: Elaboración propia.

#### Número de corridas

$$N = 2^k * R$$

K = número de factores

R = número de repeticiones = 2

Para este experimento se realizó 16 corridas en laboratorio

### 3.6.2. Matriz de diseño experimental

Se consideraron las variables de la réplica, tiempo, adsorbente chacko y el pH.

**Tabla 17:** Matriz del diseño experimental.

REPLICA	TIEMPO	CHACKO	PH	RESPUESTA (PLOMO)
1	-1	-1	-1	
1	1	-1	-1	
1	-1	1	-1	
1	1	1	-1	
1	-1	-1	1	
1	1	-1	1	
1	-1	1	1	
1	1	1	1	
2	-1	-1	-1	
2	1	-1	-1	
2	-1	1	-1	
2	1	1	-1	
2	-1	-1	1	
2	1	-1	1	
2	-1	1	1	
2	1	1	1	

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.7. MODELOS DE DISEÑO EXPERIMENTAL GENERAL

El diseño experimental general, considero los niveles de los factores, las variables respuesta y el efecto de los factores.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

$$i = 1, 2, \dots, p \text{ (Niveles de factor A)}$$

$j = 1, 2, \dots, q$  (Niveles de factor B)

$k = 1, 2, \dots, r$  (Niveles de factor C)

$l = 1, 2, \dots, s$  (Repeticiones)

$Y_{ijk}$  : Es la variable respuesta de la  $l$ -ésima observación bajo el  $k$ -ésimo nivel de factor C, en la  $j$ -ésima observación del factor B sujeto al  $i$ -ésimo nivel de factor A

$\mu$  : Constante, media de la población a la cual pertenecen las observaciones.

$\alpha_i$  : Efecto del del  $i$ -ésimo nivel del factor A.

$\beta_j$  : Efecto del del  $j$ -ésimo nivel del factor B.

$\delta_k$  : Efecto del del  $k$ -ésimo nivel del factor C.

$(\alpha\beta)_{ij}$  : Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor A, en el  $j$ -ésimo nivel del factor B.

$(\alpha\delta)_{ik}$  : Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor A, en el  $K$ -ésimo nivel del factor C.

$(\beta\delta)_{jk}$  : Efecto de la interacción del  $J$ -ésimo nivel del factor B, en el  $K$ -ésimo nivel del factor C.

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$  : Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor A, en el  $j$ -ésimo nivel del factor B, bajo el  $K$ -ésimo nivel del factor C.

$\varepsilon_{ijkl}$  : Efecto del error experimental



### 3.8. VARIABLES

- Variable Independiente (Vi). Causa: Agua Residual de Mina
- Variable dependiente (Vd). Efecto: Remoción de Plomo Pb (II)
- Variable Interviniente:
  - Tiempo de residencia optimo
  - Cantidad del Adsorbente optimo
  - pH optimo

### 3.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS

Los resultados de la metodología experimental permiten determinar las Isotermas de Adsorción, procediéndose de la manera siguiente:

#### a. Isotermas de adsorción

Se tomaron 8 matraces Erlenmeyer en las que en cada uno de los matraces se pusieron un volumen de 100 ml de solución de agua sintética o acuosa con una concentración inicial ( $C_i$ ), de 0,6 mg/L de plomo ionizado Pb (II), para evaluar los valores óptimos del diseño experimental, del tiempo de agitación o de residencia que corresponde a 30 minutos; para la cantidad del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) que recae en un valor de 01 grano y para un pH óptimo de 5,5 cuyos parámetros fueron tratados a una temperatura de 25 °C, con agitación de 120 rpm para el tiempo optimo determinado de 30 minutos. El contenido de cada matraz de dejo precipitar durante 30 min y seguidamente se filtró y en la solución filtrada se determina por análisis de espectrofotométrico de UV-V-IR la concentración final ( $C_f$ ) de plomo Pb (II).

Para determinar la capacidad de adsorción se empleó la ecuación (2):

$$q_e = \frac{V * (C_i - C_f)}{W}$$

Donde:

$q_e$  : Capacidad de adsorción ( $\text{mg.g}^{-1}$ ).

$C_i$  : Concentración inicial del adsorbato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

$C_f$  : Concentración final del adsorbato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

$V$  : Volumen de la solución (L).

$W$  : Cantidad de adsorbente utilizada (g).

Para la evaluación del porcentaje de adsorción se empleó la ecuación (3):

$$\%A = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100$$

Donde:

$\%A$  : Porcentaje de adsorción (%).

$C_i$  : Concentración inicial del adsorbato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

$C_f$  : Concentración final del adsorbato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

#### **b. Ajuste a una isoterma de equilibrio**

Con los datos experimentales se evaluaron las isotermas de adsorción, para determinar el mejor ajuste de equilibrio del proceso de adsorción de plomo Pb (II), por el adsorbente chacko (*Hidralgirita*), teniéndose las Isotermas de Freundlich y Langmuir (Miranda, 2017):

### - **Isotermas de freundlich**

La concentración de equilibrio de adsorción se puede expresar mediante una relación de tipo potencial entre el soluto adsorbido y la concentración de equilibrio que se expresa por:

$$Y_e = K_f C_e^{1/n} \quad (8)$$

Donde:

$Y_e$  : Cantidad de Pb (II) retenido por unidad de masa del sorbente, (mg.g<sup>-1</sup>)

$C_e$  : Concentración de equilibrio de Pb (II) en la fase líquida, (mg. L<sup>-1</sup>)

$K_f$  : Constante de equilibrio (mg.g<sup>-1</sup>) (L. mg<sup>-1</sup>)<sup>1/n</sup>

$n$  : Constante de afinidad entre sorbente y el sorbato.

Esta ecuación se puede linealizar tomando logaritmos:

$$\log(Y_e) = \log(K_f) + \frac{1}{n} \log(C_e) \quad (9)$$

Al representar  $\log(Y_e)$  frente a  $\log(C_e)$ , los valores de la pendiente y la ordenada en el origen nos dan a conocer los valores de las constantes de la isoterma ( $K_f$ ) y ( $n$ ) respectivamente. El modelo de freundlich supone que la superficie del sorbente es heterogénea y que los sitios de sorción tienen distintas afinidades, primero se ocupan las posiciones de mayor afinidad y posteriormente el resto va ocupando y se asume que la unión es de tipo físico.

### - **Isotermas de langmuir**

En este modelo la atracción entre los iones del Pb (II) y la superficie del sorbente chacko (*Hidralgirita*) se basa principalmente en fuerzas físicas (fuerzas electroestáticas

de Van der Waals) y se asume que la adsorción ocurre en lugares específicos de la superficie del sorbente (Davis y Col, 2003). La isoterma de Langmuir es representada por:

$$Y_e = \frac{b(Y_m)(C_e)}{1+b(C_e)} \quad (10)$$

Donde:

$Y_e$  : Cantidad de Pb (II) retenido por masa del sorbente, ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )

$C_e$  : Concentración de equilibrio de Pb (II) en fase líquida, ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$Y_m$  y  $b$ : Constantes de Langmuir relacionadas con la máxima capacidad de sorción para una mono capa completa, ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) y la afinidad entre sorbente y sorbato ( $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$ ) respectivamente.

La ecuación anterior se puede linealizar de la forma siguiente:

$$\frac{C_e}{Y_e} = \frac{1}{Y_m(b)} + \frac{C_e}{Y_m} \quad (11)$$

De la representación gráfica ( $\frac{C_e}{Y_e}$ ) frente a ( $C_e$ ) se obtiene una línea recta cuya pendiente y ordenada en el origen, determinan los valores de los parámetros  $Y_m$  y  $b$ .

La isoterma de Langmuir, puede ser representada por una constante adimensional llamada factor de separación o de equilibrio,  $R_L$ , definida por la expresión siguiente:

$$R_L = \frac{1}{1+b(C_i)} \quad (12)$$

Donde:

$b$  : Constantes de Langmuir

$C_i$  : Concentración inicial de Pb (II) en ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

RL indica el tipo de isoterma Y para valores entre 0 y 1, la adsorción es favorable:

Si  $RL = 0$  El sistema isotérmico es irreversible

Si  $0 < RL < 1$  El sistema isotérmico es favorable

Si  $RL = 1$  El sistema isotérmico es lineal

Si  $RL > 1$  El sistema isotérmico es desfavorable, debido a que la biosorción del metal no es significativo (Namasivayam y Höll, 2004).

### c. **Ajuste al modelo de equilibrio del proceso de adsorción**

El Ajuste al Modelo de Equilibrio del proceso de adsorción para el presente trabajo de investigación, se ha determinado teniendo la siguiente metodología:

a) Se grafica la nube de puntos con los datos ( $Y$ :  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) versus ( $C_e$ :  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) para la isoterma de adsorción Batch a diferentes concentraciones de Pb (II).

Se linealizó las expresiones matemáticas de los modelos de Freundlich y Langmuir, ecuaciones (8) y (10)

b) Se graficó los datos ( $Y$ ) versus ( $C_e$ ); ( $\text{Log } Y$ ) versus ( $\text{Log } C_e$ ); ( $1/Y$ ) versus ( $1/C_e$ ), correspondientes a las formas lineales de cada modelo de adsorción de Freundlich y Langmuir.

c) Se graficó al ajuste de los datos experimentales a la isoterma de Freundlich y Langmuir, para los tiempos de (0 a 100 minutos) a tres diferentes temperaturas de ( $20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $25\text{ }^\circ\text{C}$  y  $30\text{ }^\circ\text{C}$ ), para la adsorción de Pb (II) de concentración de ( $0,6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), para un peso de (1g) de adsorbente chacko (*Hidralgirita*), a pH (5,5).

- d) Se analizó cada uno de los gráficos, seleccionando como modelo de adsorción, el gráfico cuyo coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se aproxime más a la unidad.

Con el modelo de Langmuir se determinó la capacidad máxima de adsorción ( $Y_{\max}$ ) y la constante de equilibrio ( $K$ ).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo del trabajo de investigación, se presentan los datos y resultados obtenidos en los análisis del proceso de adsorción, en una primera parte por el adsorbente chacko (*Hidralgirita*) y seguido por el proceso de floculación-sedimentación por cal artesanal CaO en un reactor de flujo ascendente; para la remoción del plomo Pb (II) contenido en aguas residuales de mina.

### 4.1. CARACTERIZACION DE LA ARCILLA CHACKO (*HIDRALGIRITA*)

#### 4.1.1. Características organolépticas

- Estado físico : Sólido
- Aspecto : Firme-Lizo granulado
- Color : Plomo humo
- Olor : A arcilla
- Sabor : Semi dulce
- Forma : variable

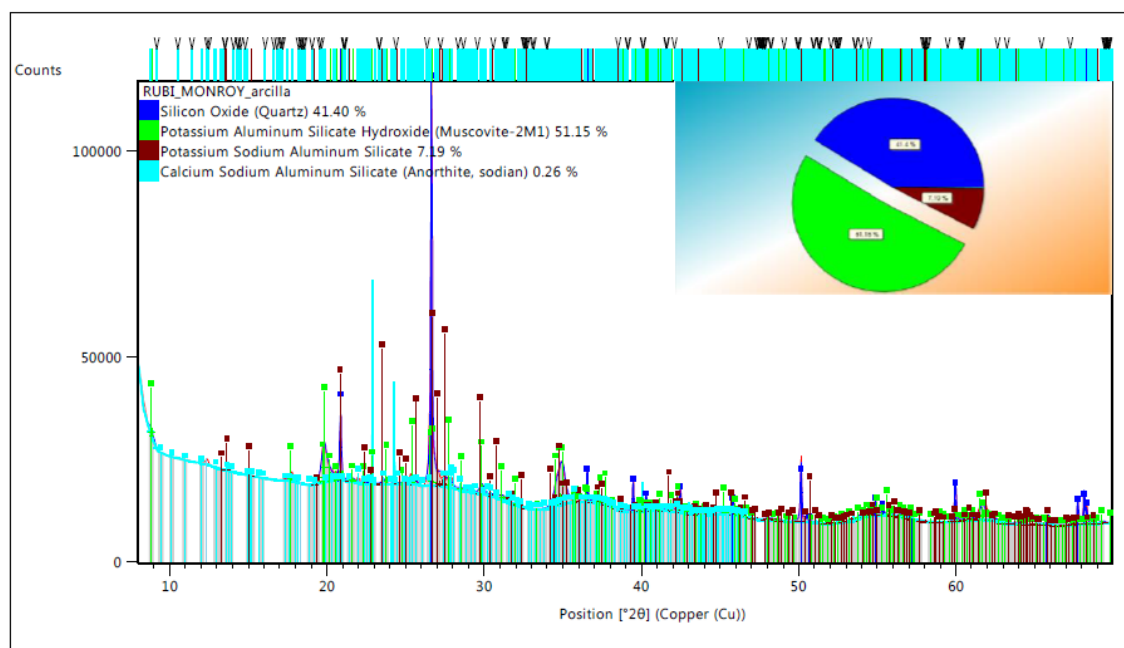
#### 4.1.2. Caracterización química del chacko

La caracterización química de la arcilla chacko (*Hidralgirita*) se muestra en la tabla 18 fueron determinados en los laboratorios de Análisis Químico, Consultoría e Investigación LABICER (Laboratorio N° 12) Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Ingeniería UNI- Lima.

**Tabla 18:** Composicion quimica arcilla chacko (hidralgiritita) por difraccion de rayos x. (Puno-Asillo-San Miguel).

Compuesto	Formula	Resultados (%)	Método Utilizado
<b>Oxido de silicio</b>	SiO <sub>2</sub>	41,40	
<b>Hidróxido silicato de aluminio y potasio</b>	K(Al <sub>4</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>9</sub> (OH) <sub>3</sub> )	51,15	
<b>Silicato de sodio, calcio y aluminio</b>	(Na,Ca)Al(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,26	Difracción de Rayos x (*)
<b>Silicato de potasio, sodio y aluminio</b>	(Na,K)(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>8</sub>	7,19	

FUENTE: LABICER (Laboratorio 12) Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Ingeniería UNI-Lima.



**Figura 17:** Espectro del análisis de chacko.

Los resultados de la tabla 18, y figura 17, de la caracterización de la arcilla chacko (*Hidralgiritita*), contiene un alto contenido de hidróxido silicato de aluminio y potasio, del 51,15 %; en la que el aluminio (III) es el componente metálico de mayor porcentaje de

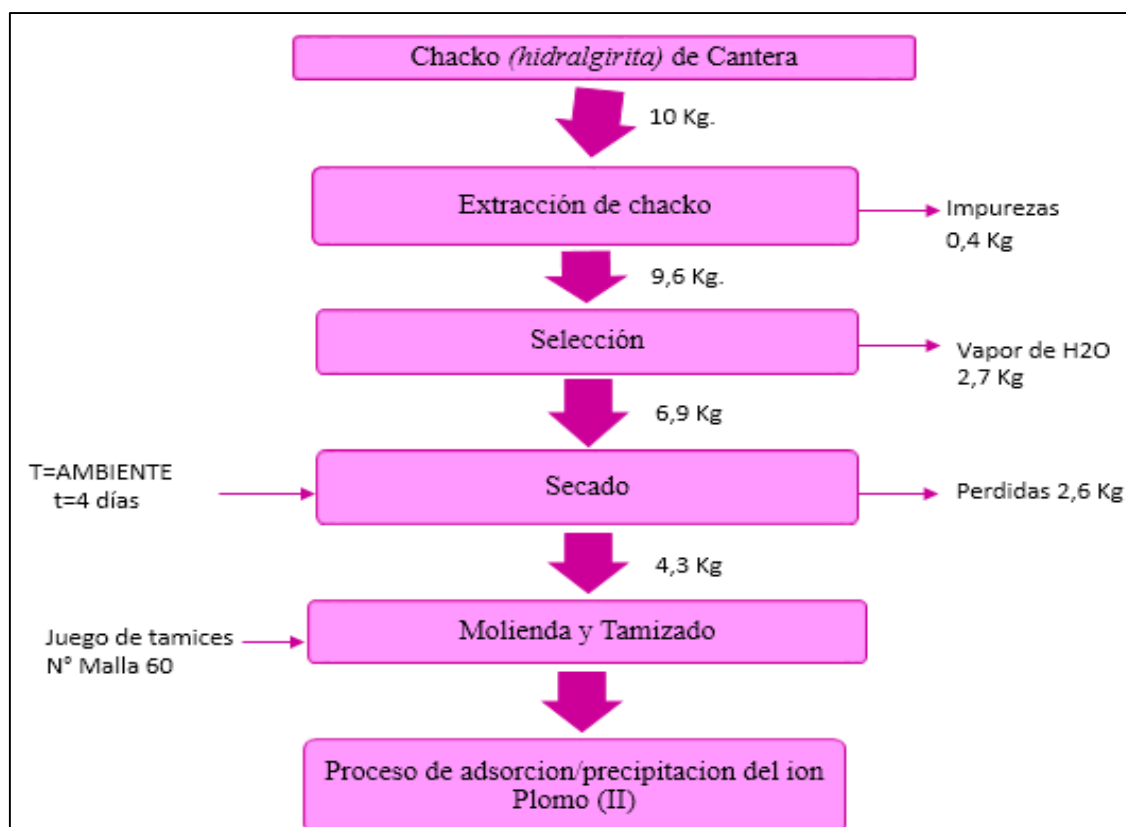


composición; seguido del contenido de óxido de silicio del 41,40 %; en el que el silicio (IV) es el componente metálico de mayor porcentaje de composición. Los componentes de aluminio y silicio que se encuentran en mayor cantidad de hidróxido y óxido respectivamente, son los componentes que al formar los hidróxidos respectivos de carga negativa, facilitan la adsorción de los iones plomo Pb (II) del agua residual minero en medio ácido de pH 5,5; así mismo en la adsorción una sustancia en la superficie externa de la arcilla se adhiere los sorbatos, debido a los enlaces iónicos no satisfechos con la superficie adherente externa que naturalmente buscan satisfacer estos enlaces, entre la arcilla adsorbente y el sorbato de carga opuesta (Martins *et al.*, 2004).

Se conoce que las partículas de arcilla llevan carga eléctrica negativa, mientras que las impurezas y toxinas (iones metálicos) llevan carga eléctrica positiva. La arcilla interactúa con diversas sustancias, en especial con sustancias polares como el agua e iones metálicos.

#### **4.1.3. Preparación de adsorbente de arcilla chacko (*Hidralgirita*)**

Las operaciones para la preparación de la arcilla chacko (*Hidralgirita*) como adsorbente incluyeron las siguientes operaciones: Extracción, selección, secado, molienda y tamizado cuyo balance de materia se muestra en la figura 17.



**Figura 18:** Balance de Materia de la Preparación física del Adsorbente Arcilla chacko (*Hidralgirita*).

En la figura 17, se muestra el tratamiento físico de la adsorbente arcilla chacko (*Hidralgirita*) y su balance de materia para sus respectivas operaciones; teniéndose un rendimiento del tratamiento de la masa del adsorbente arcilla chacko (*Hidralgirita*), de:

$$R_1 = \frac{4,40}{10} * 100 = 44\% \tag{13}$$

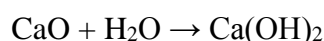
El valor de la cantidad de arcilla chacko (*Hidralgirita*) se ha pulverizado hasta malla 60 de 0,25 mm de diámetro de la arcilla chacko.

#### 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CAL (CAO) ARTESANAL

La cal artesanal procede de las canteras de procesamiento, del Distrito de Samán Provincia de San Román Región Puno, ubicado a 6,5 Km Norte - Este de →la población urbana de Samán.

##### - **Tratamiento físico - químico de la cal CaO**

Para el tratamiento físico - químico de la cal (CaO) artesanal, se realizó las siguientes operaciones: Adquisición de la materia prima, selección, secado, remolienda, tamizado y preparación de disoluciones de cal (solución lechada de cal: Ca(OH)<sub>2</sub>) para procesos de floculación según la reacción química de:



Las purezas de la cal CaO y del hidróxido de calcio Ca(OH)<sub>2</sub>, o lechada de cal se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19:** Pureza de la cal (CaO) y del hidroxido de calcio Ca(OH)<sub>2</sub>.

<b>Solubilidad en agua</b>	<b>27 g.L<sup>-1</sup> a 25 °C</b>
<b>Pureza cal útil %</b>	65 %
<b>Pureza Ca(OH)<sub>2</sub> %</b>	%

FUENTE: Laboratorio Químico Empresa SGS Arequipa.

##### - **Preparación de la Solución de Lechada de Cal Ca(OH)<sub>2</sub> para Proceso de Floculación**

La cal artesanal CaO (Oxido de Calcio) se utilizó como material floculante, para lo cual se ha seleccionado y sometido a la operación de remolienda y tamizado hasta malla

N° 60. A partir de la cal tamizada se prepararon disoluciones acuosas a concentración de CaO de 1% presentado en forma de hidróxido de calcio (Lechada de cal)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Con dicha concentración se determinó la dosis óptima de floculación, para su sedimentación por flujo ascendente.

#### 4.3. Caracterización del agua residual de mina contaminada con plomo Pb (II)

Se han tomado muestras de agua residual de mina de la Rinconada ubicado en las coordenadas geográficas UTM

- Norte 8383450.00m N
- Este 451728.76m E

Ubicado en el Centro Poblado Minero de la Rinconada, Distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina Región Puno

La caracterización del agua residual de mina se realizó en muestras del método Compuesto por 24 horas sucesivas, acumulándose un volumen total de muestra de 10 litros. Los análisis físico-químicos de la muestra del agua residual se realizaron en los laboratorios de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno, resultados que se muestran en la tabla 20.

**Tabla 20:** Características físico – químicas de agua residual de mina.

Parámetros	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 010 – 2010 MINAM	Valores Obtenidos
<b>Turbidez</b>	NTU	5	16.0
<b>Potencial de Hidrogeno</b>	pH	6 - 9	06.04
<b>Conductividad eléctrica</b>	uS/cm	1500	1694
<b>Solidos Totales en Suspensión</b>	mg/L	50.00	390.0
<b>Temperatura</b>	°C	-	10.80
<b>Plomo Total</b>	mg/L	0.20	00.60

FUENTE: Laboratorio de Tecnología de Aguas FIQ- UNA-Puno. (2018).

De los resultados de los análisis físico-químicos del agua residual de mina, al ser evaluados a los valores de los límites máximos permisibles (LMP) del D.S. 010-2010, se tienen para:

- La turbidez tiene un valor máximo permisible (VMP) de 5 (NTU), el cual es sobre pasado por el valor de 16,0 (NTU) del agua residual de mina.
- El pH se encuentra dentro los valores admitidos o normales a los VMP.
- La conductividad eléctrica debe tener un VMP de 1500  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , el cual es superado por valores del agua residual de mina con 1694  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , cantidad que explica de que el agua residual posee iones metálicos aparte del ion plomo, interpretándose que el agua está contaminado por metales ionizados lo que concuerda con el pH; ya que a pH ácidos se tiene presencia de iones metálicos disueltos en el agua (Miranda, 2017).
- Para los Solidos Totales en Suspensión, el VMP permitido es de 50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , los que han sido superados por la muestra del agua residual de mina que contiene una concentración de 390  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .
- Para el ion Plomo contenido en efluentes de aguas residuales minero metalúrgicos el VMP facultado es de 0,2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , el cual es superado por la concentración de plomo en el agua residual de mina con un valor de 0,60  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , cantidad que duplica a las normas del D.S. 010-2010 MINAN.

De los resultados se interpreta que el agua residual de mina para su evacuación a medios receptores naturales, requiere tratamiento físico-químico.

#### **4.4. PROCESO DE ADSORCIÓN DEL ION DE PLOMO Pb(II) DE AGUAS RESIDUALES DE MINA**

Con la finalidad de evaluar la influencia de las variables que intervienen en el proceso de adsorción del plomo Pb (II), por el adsorbente chacko (Hidralgirita), en aguas residuales de mina, se han llevado a cabo experimentos en laboratorio con distintas variaciones de las variables, para determinar la variable óptimo de: tiempo de agitación o de residencia, cantidad del adsorbente chacko y evaluación del pH óptimo.

##### **4.4.1. Efecto de tiempo optimo en la adsorción de plomo Pb(II) Mediante el Adsorbente Chacko (Hidralgirita)**

La determinación del efecto del tiempo óptimo de agitación o tiempo de residencia, se realizaron mediante 08 pruebas, en matraces Erlenmeyer, en la que para cada uno de se toma un volumen de 100 mL de solución acuosa con contenido de plomo Pb (II) de concentración inicial ( $C_0$ ) de 0,6 mg/L, adicionándole 2 g del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) a pH 6; valores que se han tomado en referencia a antecedentes de trabajos realizados (Callata, 2017), a una velocidad de agitación de 120 RPM, considerándose diferentes tiempos de agitación de  $t$  (min) 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 90; 100. Al finalizar el proceso de adsorción fueron evaluados la concentración de plomo Pb (II) adsorbido en cada uno de las 08 muestras y de esta se eligió el tiempo óptimo del proceso de adsorción que corresponde a 70 minutos de agitación con una capacidad de adsorción de  $(q) = 0,026$  (mg/g), que corresponde a una remoción o adsorción del 85 (%A) de plomo del agua residual de mina; después de este tiempo la adsorción de plomo disminuye y por lo tanto la velocidad y el equilibrio de adsorción del solvente soluto se alcanza a los 70 minutos cuyos resultados se muestran en la tabla 21 y figura 19.

**Tabla 21:** Efecto del tiempo óptimo en la adsorción de plomo Pb (II) por el adsorbente chacko (hidralgiritita).

muestra	t (min)	Co (mg/L)	W (g)	Cf (mg/L)	q (mg/g)	%A
1	10	0,6	2	0,14	0,023	76,7
2	20	0,6	2	0,15	0,023	75,0
3	30	0,6	2	0,20	0,020	66,7
4	40	0,6	2	0,17	0,022	71,7
5	50	0,6	2	0,14	0,023	76,7
6	70	0,6	2	0,09	0,026	85,0
7	90	0,6	2	0,11	0,025	81,7
8	100	0,6	2	0,12	0,024	80,0

FUENTE: Elaboración propia.

Donde:

t = tiempo (min)

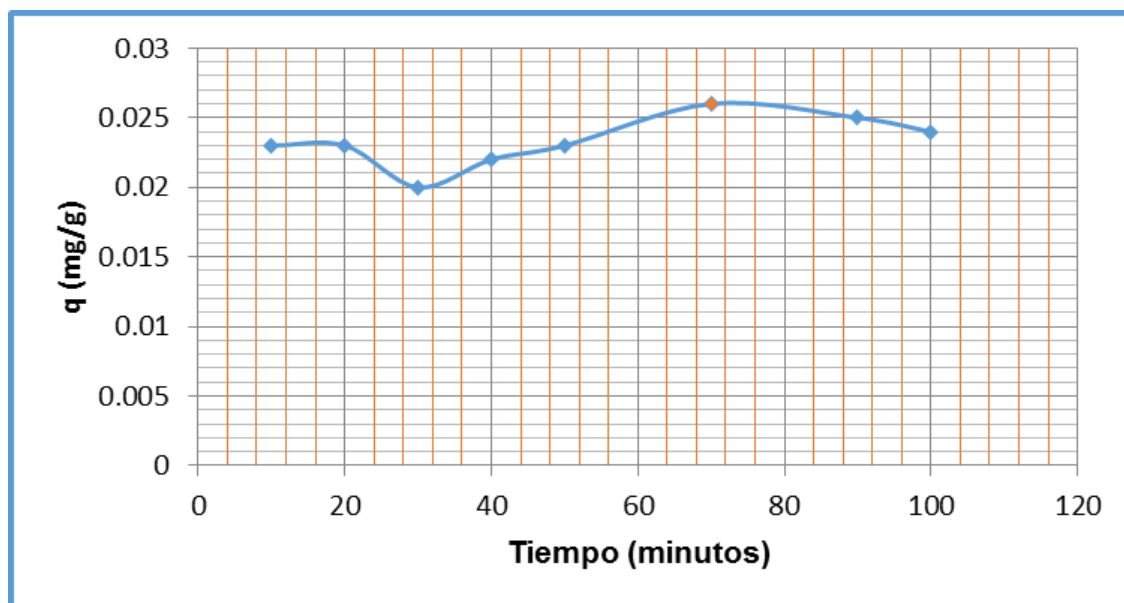
Co = concentración inicial Pb ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )

Cf = concentración final Pb ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )

W = cantidad de adsorbente chacko (g)

q = capacidad de adsorción ( $\text{mg Pb/g chako}$ )

%A = % Adsorción de Pb



**Figura 19:** Tiempo óptimo de adsorción de plomo pb (ii) por el adsorbente chacko (hidralgirita).

Se tienen resultados de otras experiencias realizados, donde se muestran los tiempos de equilibrio que son muy próximos al tiempo determinado; los resultados referenciales se muestran en la tabla 22.

**Tabla 22:** Tiempos de equilibrio en la adsorción de plomo Pb (II).

Adsorbente	t. (min)	q. (mg.g <sup>-1</sup> )	Autor
<b>Dióxido de Titanio (DOW)</b>	80	00,029	Pérez, R, J.(2012)
<b>Titanato de Potasio + Si.</b>	120	78,21(%A)	Aguilar, G, M. <i>et al</i> (2009)
<b>Salvado de Cebada</b>	60	00,042	Mamani, Cruz, Rony (2016)
<b>Tarwi</b>	30	00,133	Pacco, M, Nelyda, G. (2012)
<b>Chacko (Hidralgirita)</b>	30	70,00(%A)	Tapia, Callata, L. (2017)

FUENTE: Elaboración propia.



#### 4.4.2. Efectos de la cantidad óptima del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) en la Adsorción de Plomo Pb(II)

Para determinar la cantidad óptimo del adsorbente chacko (*Hidralgirita*), se evaluaron en 08 matraces Erlenmeyer, y en cada matraz se tomaron un volumen de 100 mL de solución acuosa con contenido de plomo Pb (II) con concentración inicial ( $C_o$ ) de 0,6 mg/L; adicionándole a cada uno de los matraces Erlenmeyer las cantidades de 0,1; 0,2; 0,5; 0,8; 1; 2; 5 y 8, g del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) a pH 6, a una velocidad de agitación a 120 RPM, para un tiempo de agitación óptimo que corresponde a 30 (min) para el proceso de adsorción, Los resultados se muestran en la tabla 23 y figura 20.

**Tabla 23:** Efecto de la cantidad óptimo del adsorbente chacko (hidralgirita) en la adsorción de plomo Pb (II).

muestra	W (g)	t (min)	$C_o$ (mg/L)	CF (mg/L)	Q (mg/g)	%A
1	0,1	70	0,6	0,295	0305	50,83
2	0,2	70	0,6	0,128	0,236	78,67
3	0,5	70	0,6	0,115	0,097	80,83
4	0,8	70	0,6	0,096	0,063	84,00
5	1	70	0,6	0,091	0,051	84,83
6	2	70	0,6	0,095	0,025	84,16
7	5	70	0,6	0,098	0,010	83,66
8	8	70	0,6	0,100	0,006	83,33

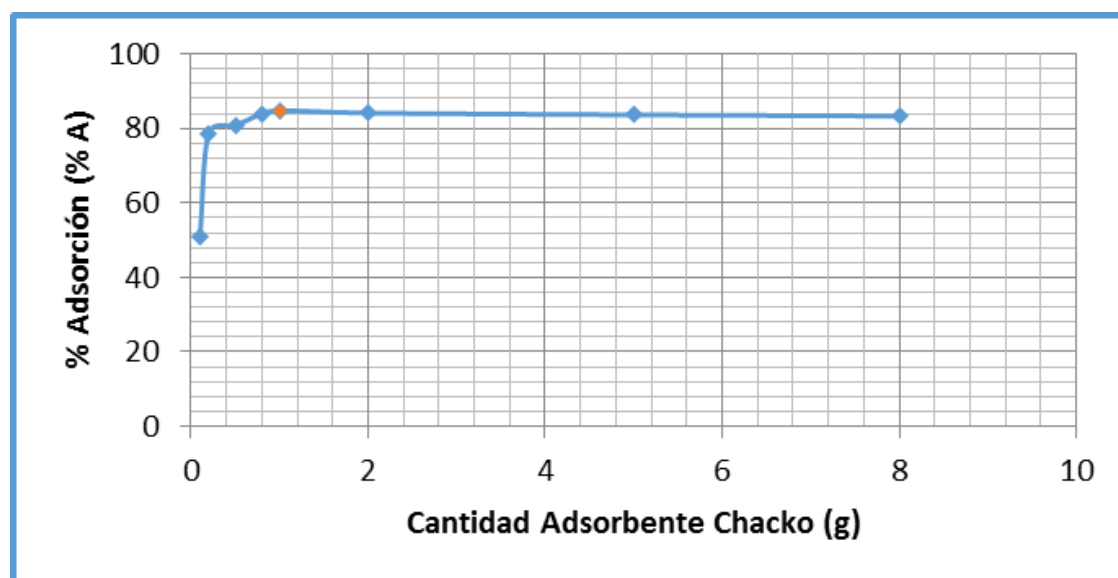
FUENTE: Elaboración propia.

La evaluación del efecto de la cantidad del adsorbente chacko se muestra en la tabla 23 y figura 20; en esta se observa que el porcentaje de adsorción del plomo Pb (II) contenido en el agua se incrementa con la adición de la cantidad del adsorbente chacko hasta un porcentaje de adsorción (%A) de plomo Pb (II) del 84,33 %, considerándose el equilibrio de adsorción sorbente adsorbato óptimo, para la cantidad de 1 gramo que es el

mayor valor de equilibrio de la interacción de los grupos funcionales del adsorbente chacko y la carga del sorbato ion plomo y que a partir de este punto de equilibrio disminuye los porcentajes de adsorción.

La caracterización físico químico del chacko por análisis de difracción de rayos X, muestra que un 51,15 % de su componente es hidróxido silicato de aluminio y potasio  $K(Al_4Si_2O_9(OH)_3)$ , (Labicer. 2018) (ver certificación en anexo); cuyos componentes al disolverse en el agua se ionizan como  $Al^{+3}$ ,  $Si^{+4}$ ,  $K^{+1}$  y radicales  $OH^{-1}$ ; quedando en la molécula del adsorbente chacko cargas negativas libres que son responsables de la atracción del Ion plomo  $Pb^{+2}$  o  $Pb(II)$ , produciéndose el proceso de su adsorción y remoción respectiva desde el agua residual.

El valor de la evaluación del efecto de la cantidad del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) en la adsorción del plomo (II) tienen cantidades similares para otros adsorbentes tal como se muestra en la tabla 24.



**Figura 20:** Cantidad óptimo del adsorbente chacko (hidralgirita) en la adsorción de plomo  $Pb(II)$ .

**Tabla 24:** Cantidad de adsorbente en equilibrio de la adsorción de plomo Pb (II).

Adsorbente	W (g)	A%	Autor
<b>Dióxido de Titanio (DOW)</b>	1,00	93,18	Pérez, R, J.(2012)
<b>Titanato de Potasio + Si</b>	2,00	90,00	Aguilar, G, M. <i>et al</i> (2009)
<b>FeCl<sub>3</sub> + Zeolita Natural</b>	3,27	90,00	Cruz, Arteaga, L. S. (2013)
<b>Salvado de Cebada</b>	2,50	58,01	Mamani, Cruz, Rony (2016)
<b>Tarwi</b>	0,55	64,60	Pacco, M, Nelyda, G. (2012)
<b>Chacko (<i>Hidralgirita</i>)</b>	0,20	80,00	Tapia, Callata, L. (2017)

FUENTE: Elaboración propia.

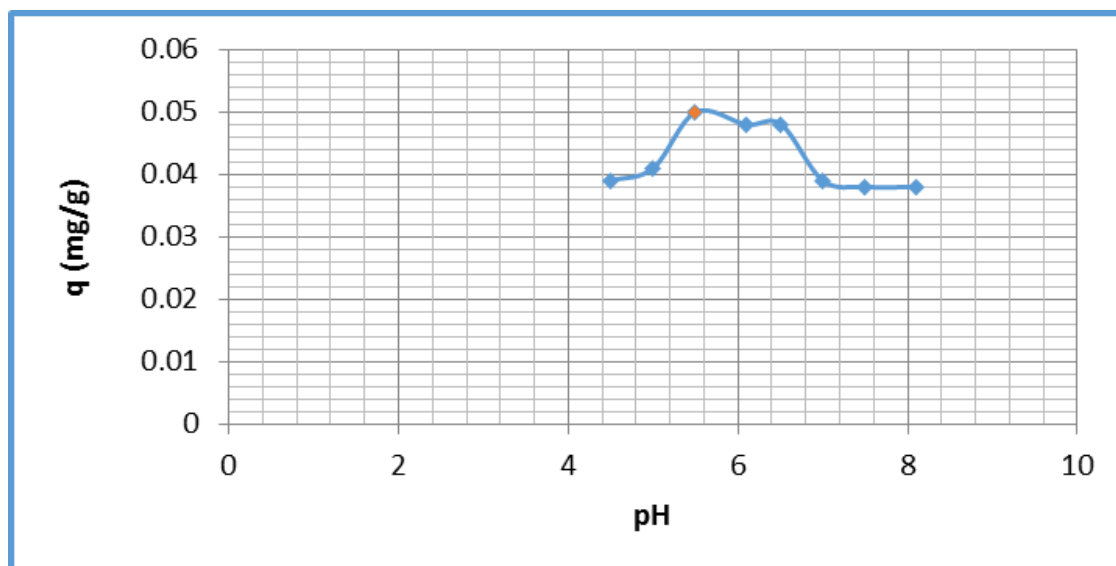
#### 4.4.3. Efectos del pH óptimo en la adsorción del plomo Pb(II)

Para determinar el efecto de pH óptimo, se evaluaron en 08 matraces Erlenmeyer, en cada uno con un volumen de 100 mL, de solución acuosa con contenido de plomo Pb (II) de concentración inicial ( $C_0$ ) de 0,6 mg/L y con adición de 1g de la cantidad óptima del adsorbente chacko (*Hidralgirita*) a cada uno de los matraces, para diferentes valores de pH, de: 8,10; 7,50; 7,00; 6,51; 6,10; 5,50; 5,00 y 4,50; con una agitación óptima por 70 (min) a 120 RPM, cuyos resultados del efecto del pH en la adsorción plomo Pb (II) se presentan en la tabla 25 y figura 21.

**Tabla 25:** Efecto del pH óptimo en adsorción de plomo Pb (II).

Muestra	W (g)	pH	t (min)	$C_0$ (mg/L)	$C_f$ (mg/L)	q (mg/g)	%A
1	1	8.10	70	0.6	0.220	0.038	63.33
2	1	7.50	70	0.6	0.213	0.038	64.50
3	1	7.00	70	0.6	0.208	0.039	65.33
4	1	6.51	70	0.6	0.202	0.048	66.67
5	1	6.10	70	0.6	0.120	0.048	80.00
6	1	5.50	70	0.6	0.100	0.050	83.33
7	1	5.00	70	0.6	0.190	0.041	68.33
8	1	4.50	70	0.6	0.211	0.039	64.83

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 21:** pH óptimo en la adsorción de plomo Pb (II).

La evaluación del efecto del pH en la adsorción del plomo (II) desde soluciones acuosas tiene valores similares a los evaluados, para otros adsorbentes tal como se muestra en la tabla 26.

**Tabla 26:** Equilibrio de pH en la adsorción de plomo Pb (II).

Adsorbente	pH	A%	Autor
<b>Dióxido de Titanio (DOW)</b>	7,50	93,18	Pérez, R, J.(2012)
<b>Titanato de Potasio + Si</b>	5,60	90,00	Aguilar, G, M. <i>et al</i> (2009)
<b>FeCl<sub>3</sub> + Zeolita Natural</b>	6,61	89,00	Cruz, Arteaga, L. S. (2013)
<b>Salvado de Cebada</b>	7,00	58,01	Mamani, Cruz, Rony (2016)
<b>Tarwi</b>	5,00	64,60	Pacco, M, Nelyda, G. (2012)
<b>Chacko (Hidralgirita)</b>	7,50	84,00	Tapia, Callata, L. (2017)

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.5. REMOCIÓN DEL PLOMO Pb(II) DE AGUAS RESIDUALES DE MINA, POR ADSORCIÓN, COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN CON CAL (CAO) Y SEDIMENTACIÓN POR FLUJO ASCENDENTE

La remoción de plomo Pb (II) de Aguas Residuales Mineras por floculación con cal CaO y su Sedimentación por Flujo ascendente, se realizaron en dos etapas de procesos:

- a. Proceso de adsorción y floculación se acondicionaron con el uso de los parámetros óptimos de: con un tiempo de agitación de 70 minutos, con una cantidad de adsorbente chacko (Hidralgirita) 1 gramo por litro de agua residual y a pH de 5,5; que previamente fueron determinados

El acondicionamiento en reactor sedimentador de flujo ascendente se realizó utilizando los valores de los parámetros óptimos para remoción de plomo Pb (II), para lo cual se utilizó una muestra de 120 litros de agua residual de mina, con contenido de de plomo Pb (II), de concentración inicial ( $C_o$ ) de  $0,320 \text{ mg.L}^{-1}$ , a este volumen se le adiciono 120 gramos del adsorbente chacko (Hidralgirita) con control de pH a 5,5 sometiéndose a una agitación a 30 RPM, por 70 minutos, cumplido este tiempo de agitación, se determinó la concentración final ( $C_f$ ) del contenido de plomo Pb (II) en el agua residual tratada, cuyos resultados se muestran en la Tabla 27.

**Tabla 27:** Remoción de plomo por adsorción en aguas residuales de mina en el reactor sedimentador de flujo ascendente.

V. AR. (L)	W (g)	t (min)	Ph	Pb (II) $C_o$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Pb (II) $C_f$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	q ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	%A
120	120	70+36	5,5	0,320	0,12	0,20	62,5

FUENTE: Elaboración propia.

Donde:

V.AR : Volumen de agua residual de mina (L)

pH : Potencial de hidrogenación

Co : Concentración inicial de plomo en el agua residual ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

Cf : Concentración final de plomo en el agua residual ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

%A : Porcentaje de Adsorción de plomo (%Pb)

W : Cantidad del Adsorbente Chacko ( $\text{g.L}^{-1}$ )

t : Tiempo de agitación (minutos)

q : Capacidad de Equilibrio de adsorción de plomo ( $\text{mg Pb/g chacko}$ )

- b. El proceso de coagulación – floculación y sedimentación se llevó a cabo en el reactor sedimentador de flujo ascendente, comprendido desde el proceso de adsorción de plomo de aguas residuales de mina, utilizando los parámetros óptimos de: tiempo de agitación – cantidad de adsorbente chacko y pH, previamente establecidos; seguido del proceso de floculación – sedimentación

Para el proceso de coagulación floculación se evaluó por prueba de jarras, para lo cual se utilizó cal artesanal en disolución (lechada de cal)  $\text{Ca(OH)}_2$  del 1%, obteniéndose para la floculación una dosis óptima de  $3 \text{ mL.L}^{-1}$  (3 mL de  $\text{Ca(OH)}_2$  por litro de agua residual de mina), concentración equivalente de 30 mg de  $\text{Ca(OH)}_2$  por litro de agua residual de mina.

La evaluación de la concentración del plomo se inició con la toma de muestra de agua residual de mina sin tratamiento con una concentración inicial de plomo ( $C_o$ ) de

0,32 mg.L<sup>-1</sup>, los que se sometieron a tratamiento utilizando los valores de los parámetros óptimos, para un volumen de 120 litros de agua residual, con mezcla de 120 g del adsorbente chacko, (1g.L<sup>-1</sup>), con agitación por 70 minutos a 120 RPM, a pH de 5,5. Después del proceso de adsorción, se continuo con el proceso de floculación del agua residual; utilizando la dosis optima del floculante cal en forma de lechada de cal Ca(OH)<sub>2</sub> de 15 mL. L<sup>-1</sup>; y después 36 minutos de agitación a 30 RPM se evaluaron la turbiedad NTU (turbiedad del agua residual y del adsorbente chacko) y la concentración de remoción de plomo Pb (II), cuyos resultados se muestran en la Tabla 28, Figuras 22, 23 y 24.

**Tabla 28:** Remoción de turbiedad (ntu) y plomo Pb (II) en aguas residuales de mina con floculante cal artesanal (CaO).

N	Pb (II) Co (mg.L <sup>-1</sup> )	Pb (II) Cf (mg.L <sup>-1</sup> )	q (mg.g <sup>-1</sup> )	%A	NTU (o)	NTU (f)	CaO g.(120L) <sup>-1</sup>	V Ca(OH) <sub>2</sub> (mL. L <sup>-1</sup> )
0	0,32	0,120	0,200	62,50	46	45,0	0,0	0
1	0,32	0,115	0,205	64,00	46	30,0	1,2	1
2	0,32	0,108	0,212	66,20	46	26,0	2,4	2
3	0,32	0,103	0,217	67,80	46	20,5	3,6	3
4	0,32	0,102	0,218	68,00	46	14,2	6,0	5
5	0,32	0,100	0,220	68,50	46	08,3	7,2	6
6	0,32	0,099	0,221	68,80	46	05,0	8,4	7
7	0,32	0,099	0,221	68,80	46	05,3	9,6	8

FUENTE: Elaboración propia.

Donde:

Co = Concentración inicial plomo Pb (II) (mg.L<sup>-1</sup>)

Cf = Concentración final plomo Pb (II) (mg.L<sup>-1</sup>)

%A	= % de Adsorción de plomo Pb (II), por chacko ( <i>Hidralgirita</i> )
q	= capacidad de Equilibrio de adsorción de plomo (mg Pb.g <sup>-1</sup> chako)
W	= cantidad de adsorbente chacko (g)
pH	= pH en el agua residual de mina
NTUo	= Turbiedad inicial del agua residual de mina con tratamiento chacko
NTUf	= Turbiedad final del agua residual de mina con tratamiento de cal
CaO	= Concentración de cal (mg.L <sup>-1</sup> )
V.Ca (OH) <sub>2</sub>	= Volumen de hidróxido de calcio o Lechada de cal (mL)

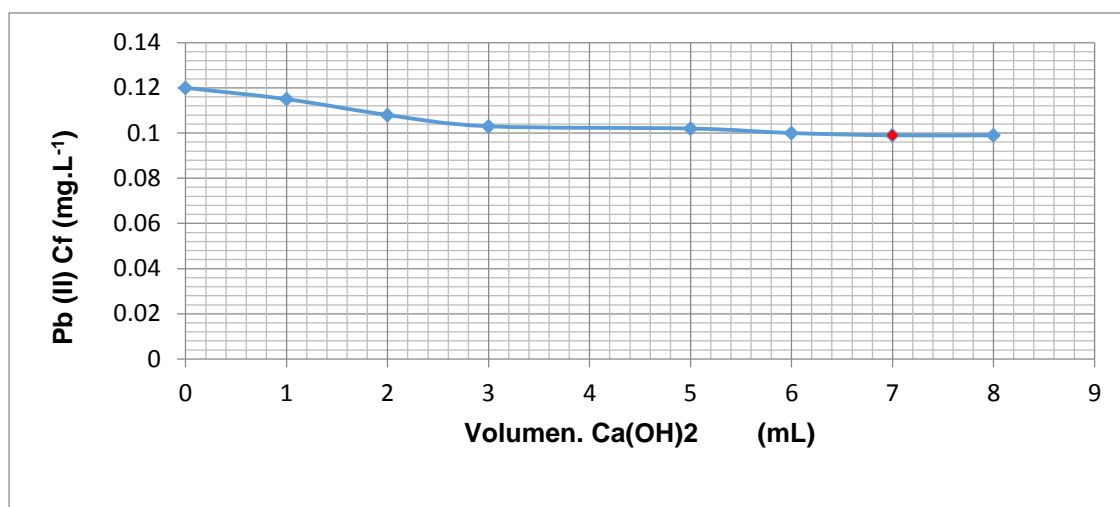
En la tabla 28 se observa que el plomo Pb (II) se ha removido desde una concentración de 0,32 mg.L<sup>-1</sup> (agua residual de mina sin tratamiento), hasta 0,099 mg.L<sup>-1</sup> de plomo Pb (II) en el agua residual de mina tratada en dos etapas:

- Primera etapa comprendida al tratamiento de adsorción aplicando los parámetros óptimos de tiempo de agitación por 70 minutos, cantidad del adsorbente chacko 1 gramo por litro de agua residual y a pH de 5,5, proceso desarrollado en el reactor sedimentador de flujo ascendente para un volumen de 120 litros de agua residual de mina.
- Segunda etapa comprende el proceso de floculación, que continúa después de la agitación de 70 minutos en el reactor sedimentador de flujo ascendente. Para el proceso de floculación se dosificó con floculante cal artesanal de concentración

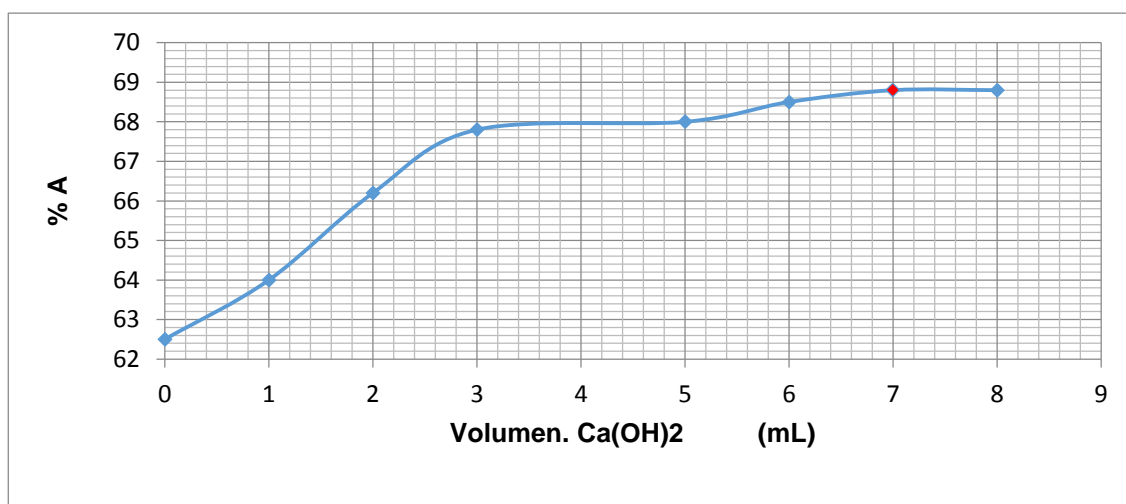


optima de 7 mL de  $\text{Ca(OH)}_2$  por litro de agua residual, equivalente a 8,4 g de  $\text{Ca(OH)}_2$  o a 6,36 g de  $\text{CaO}$ , cal artesanal, para los 120 litros de agua residual. De los resultados mostrados en la tabla 28, se tiene que se ha removido plomo Pb (II) en un 68,9 % (desde 0,32 a 0,099  $\text{mg.L}^{-1}$ ), con un equilibrio de adsorción (q) de 0.221 mg de plomo Pb (II) adsorbido, por cada gramo de chacko, durante el proceso de floculación. Durante el proceso de tratamiento del agua residual de mina, con chacko se produce una turbiedad hasta 46 NTU, el que es tratado por floculación con cal artesanal, llegando a sedimentar y producir una turbiedad a 5 NTU con una remoción de 89,13% de turbiedad, en el tiempo de 36 minutos, para el cual se utilizó 8,4 g de cal por 120 litros de agua residual de mina (8,4 g/120 L), el valor removido de la turbiedad es un valor admitido dentro de los valores de Límites Máximo Permisibles (LMP) para descarga de efluentes líquidos de Actividad Minero Metalúrgicas D.S. N° 010-2010-MINAM, y para valores máximo admisibles (VMA) D. S. 021-2009 VIVIENDA. Siendo un valor de 0,5 NTU; Así mismo el proceso de remoción del plomo, contenido en las aguas residuales de mina, mediante el tratamiento con adsorbente chacko (Hidralgiritita) y sedimentación con cal artesanal, cumplen con los de Valores Máximo Admisibles (VMA) para descarga de efluentes líquidos de Actividad Minero Metalúrgicas (LMP) D.S. N° 010-2010-MINAM, cuyo valor límite para el plomo es de 0,2  $\text{mg.L}^{-1}$  y para los valores máximo admisibles (VMA) de descarga al alcantarillado D.S. N° 021-2009 VIVIENDA el (VMA) para el plomo es de 0,5  $\text{mg.L}^{-1}$ ; por lo tanto el valor obtenido de 0,099  $\text{mg.L}^{-1}$  de plomo Pb (II) de concentración final en el agua residual en el proceso de tratamiento, es una cantidad menor al valor (VMA), por lo cual es admitido para su evacuación a

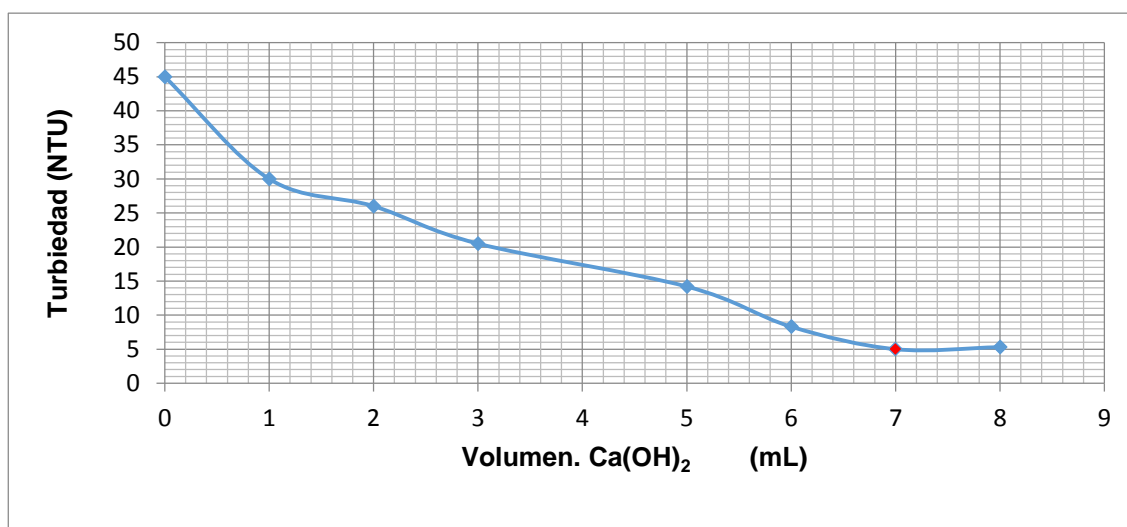
sistemas de recepción de aguas naturales, dentro de los márgenes aptos ambientalmente para el efluente de agua tratada.



**Figura 22:** Remoción de plomo Pb (II) (mg.l-1) en aguas residuales de mina con floculante cal artesanal (CaO).



**Figura 23:** Remoción de plomo Pb (II) (%) en aguas residuales de mina con floculante cal artesanal (CaO).



**Figura 24:** Remoción de turbiedad (ntu) en aguas residuales de mina con flocculante cal artesanal (CaO).

#### 4.6. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA ADSORCIÓN DEL ION PLOMO PB(II)

El diseño experimental central de las réplicas para los experimentos de los niveles mínimo y máximo de la variables permitió determinar el modelo matemático que representa a la variable respuesta, cuyos resultados se exponen en la tabla 29, y la variable respuesta representa la capacidad de adsorción ( $q$ ) del plomo Pb (II), a condiciones de trabajo para un volumen de 100 mL de agua residual de mina, contaminada por plomo (Pb) con concentración de 0,52 mg/L, para su tratamiento se utilizó adsorbente chacko, con una agitación a 120 RPM, por 70 minutos.

**Tabla 29:** Resultados de las variables respuesta del experimento.

REPLICA	TIEMPO t:(min)	CHAKO w:(g)	Ph	RESPUESTA (Pb) q:(mg/g)
1	30	0,5	5,5	<b>0,28</b>
1	70	0,5	5,5	<b>0,18</b>
1	30	1	5,5	<b>0,20</b>
1	70	1	5,5	<b>0,10</b>
1	30	0,5	8	<b>0,30</b>
1	70	0,5	8	<b>0,25</b>
1	30	1	8	<b>0,22</b>
1	70	1	8	<b>0,14</b>
2	30	0,5	5,5	<b>0,29</b>
2	70	0,5	5,5	<b>0,19</b>
2	30	1	5,5	<b>0,21</b>
2	70	1	5,5	<b>0,10</b>
2	30	0,5	8	<b>0,31</b>
2	70	0,5	8	<b>0,29</b>
2	30	1	8	<b>0,27</b>
2	70	1	8	<b>0,13</b>

FUENTE: Elaboración propia.

#### **4.7. RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE PLOMO PB(II) CONTENIDO EN EL AGUA RESIDUAL DE MINA**

El diseño experimental se realizó utilizando el Software STATIGRAPHICS

Centurión XVII, teniéndose los resultados de:

- **Análisis de varianza para la remoción de plomo**

En la tabla 30 se muestran los resultados del análisis de varianza para la remoción de plomo.

**Tabla 30:** Análisis de varianza para remoción de plomo.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo	0,030625	1	0,030625	153,13	0,0000
B:Chacko	0,0324	1	0,0324	162,00	0,0000
C:pH	0,0081	1	0,0081	40,50	0,0004
AB	0,0016	1	0,0016	8,00	0,0255
AC	0,0009	1	0,0009	4,50	0,0716
BC	0,000225	1	0,000225	1,12	0,3241
ABC	0,001225	1	0,001225	6,13	0,0425
Replicas	0,0009	1	0,0009	4,50	0,0716
Error total	0,0014	7	0,0002		
Total (corr.)	0,077375	15			

R-cuadrada = 98,1906 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96,1228 55%

Error estándar del est. = 0,0141421

Error absoluto medio = 0,0075

Estadístico Durbin-Watson = 1,875 (P=0,3562)

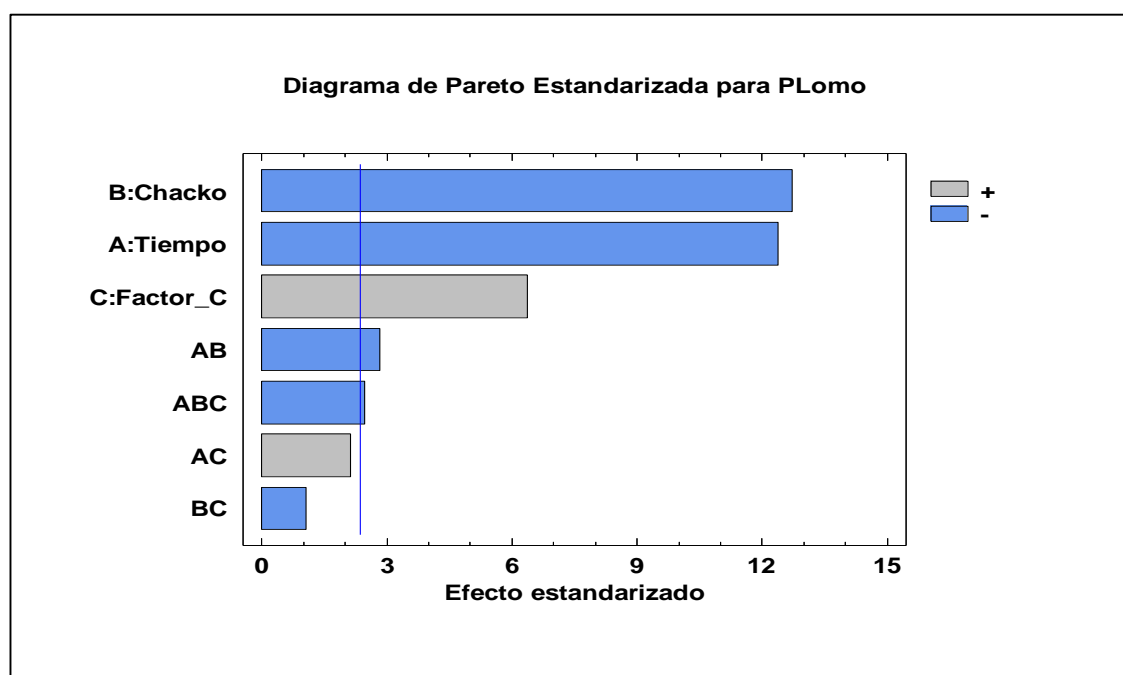
Auto correlación residual de Lag 1 = 0,00446429

De la tabla 30, de análisis de varianza para concentración de plomo contenido en el agua residual de mina, se analizó en función a los factores tiempo (min), cantidad de

chacko (g) y pH; y sus respectivas interacciones, cuya prueba la significancia estadística de cada efecto fue comparado a su cuadrado medio, con un estimado del error experimental. En este caso, se tuvieron 5 efectos (A, B, C, AB, ABC) que tienen un valor-P menor que 0,05; indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%. Lo cual indica que de al menos un nivel o tratamiento de cada factor y/o interacción de factores es diferente al resto.

#### - **Diagrama de Pareto estandarizada para remoción del plomo**

Los resultados del diagrama de Pareto estandarizada para el plomo contenido en el agua residual de mina, se expone en la figura 24.



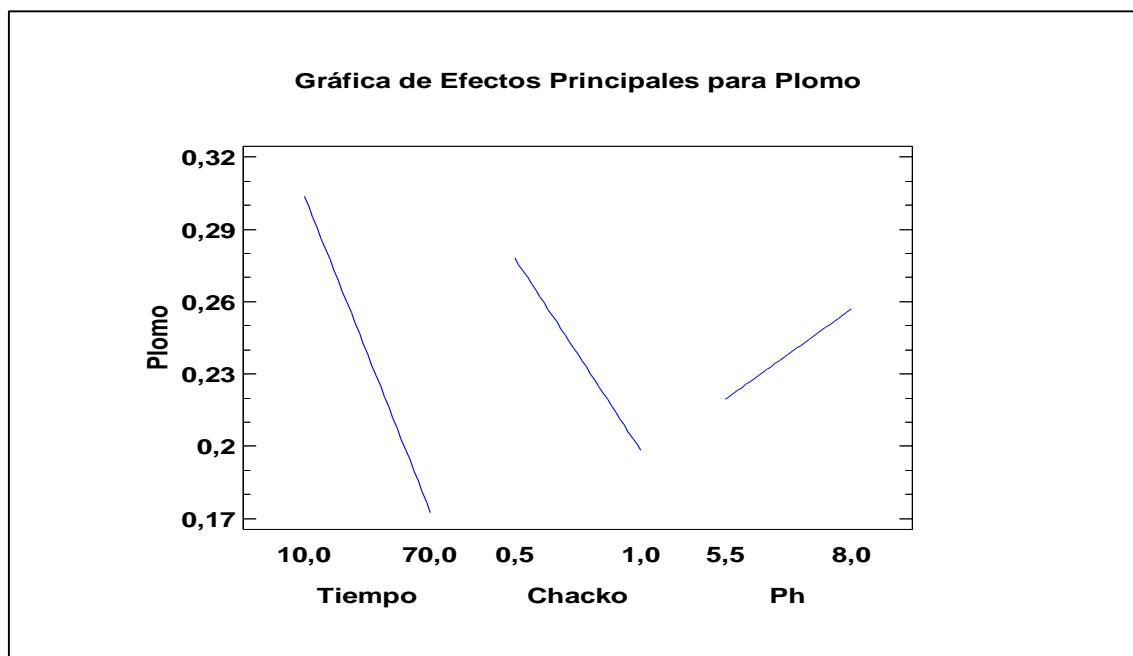
**Figura 25:** Diagrama de Pareto estandarizada para remoción de plomo.

En el diagrama de Pareto Estandarizada se representa la gráfica del análisis de varianza para el Plomo y se observa todos aquellos factores o interacción de factores que obtuvieron resultados significativos; son significativos aquellos que sobrepasan la línea azul vertical, deduciéndose que no tienen el mismo efecto entre los niveles o tratamientos, así mismo se observa que la cantidad del factor (B) adsorbente chacko es la variable de

mayor influencia, seguido del factor (A) la variable tiempo, así mismo tiene influencia el factor (C) variable pH.

#### - **Grafica de efectos principales para remoción de plomo**

En la figura 25, de la gráfica de los Efectos Principales de las variables independientes para Remoción de Plomo de las aguas residuales de mina, en el gráfico se observa que las variables más significativas son el tiempo de agitación (minutos) y la cantidad de adsorbente chacko.



**Figura 26:** Grafica de efectos principales para remoción de plomo.

De la figura 25, gráfica de efectos principales para plomo, podemos observar que los gráficos unidimensionales para los factores tiempo, cantidad de chacko y pH, explican:

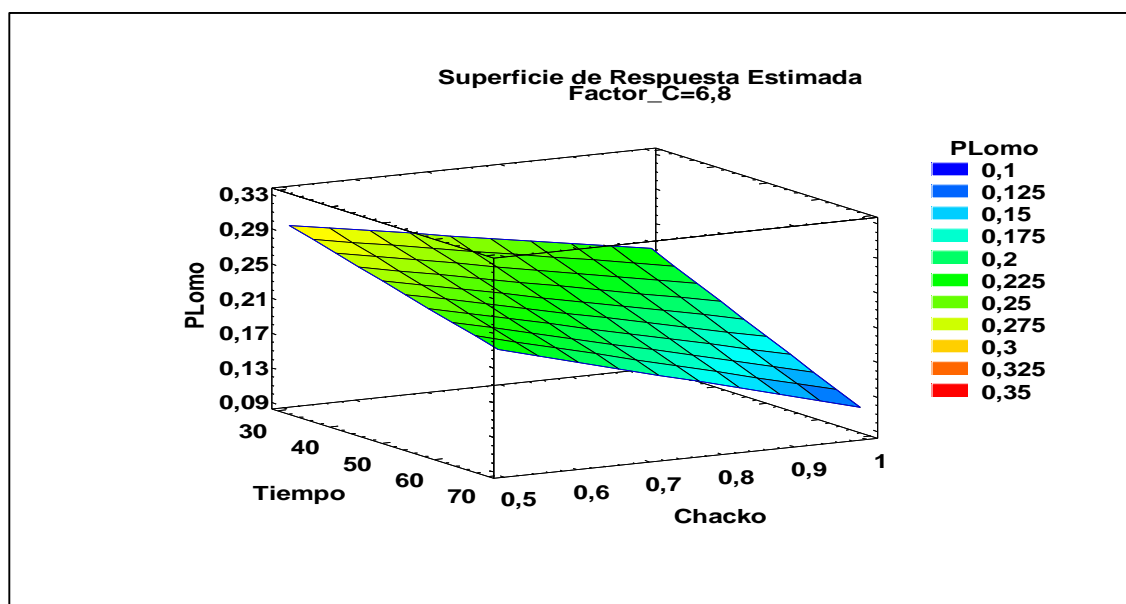
- Con respecto al tiempo se obtiene menores cantidades de plomo a mayor tiempo de agitación.

- Con el adsorbente chacko se obtiene menores cantidades de remoción de plomo a mayor cantidad de chacko.
- Con respecto a pH se obtiene menores cantidades de plomo a menor cantidad de pH.

#### 4.7.1. Grafica de superficies de respuestas tridimensional adsorción de plomo de aguas residuales de mina, con variables tiempo-cantidad adsorbente chacko (A-B)

En la Figura 26, de la gráfica de Superficies de Respuestas de las variables tiempo-cantidad del adsorbente chacko (A-B), son significativos al utilizarse estas dos variables para obtener una adsorción de plomo en el equilibrio ( $q$ ) de [0,29 mg (Pb)/ 0,5 g chacko] que aún queda en el agua residual, para un tiempo de agitación de 30 minutos.

(A-B) SIGNIFICATIVO

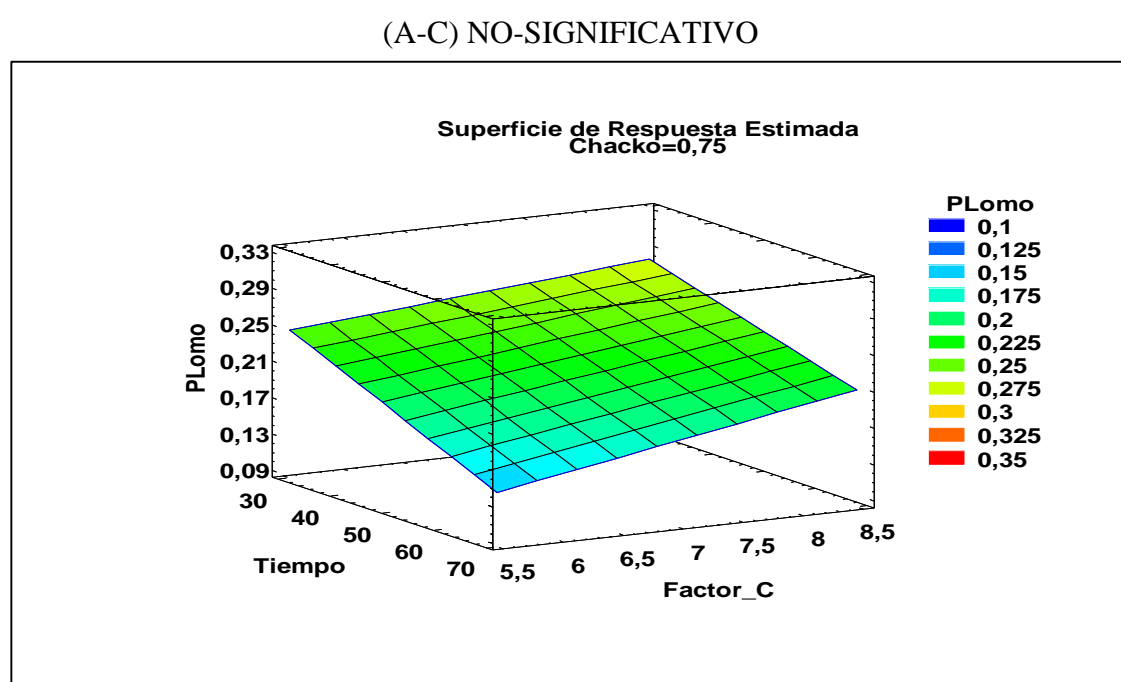


**Figura 27:** Superficies de respuestas adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables tiempo-chacko (A-B).



#### 4.7.2. Grafica de superficies de respuestas tridimensional adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables tiempo-pH (A-C)

En la Figura 27, de la gráfica de Superficies de Respuestas de las variables tiempo-pH (A-C), son no significativos al utilizarse estas dos variables para adsorción de plomo, cuya concentración de adsorción en el equilibrio es de (q) de [0,275 mg (Pb)/ 0,75 g de chacko] que aún queda en el agua residual, para un tiempo de agitación de 30 minutos a pH de 8,5.

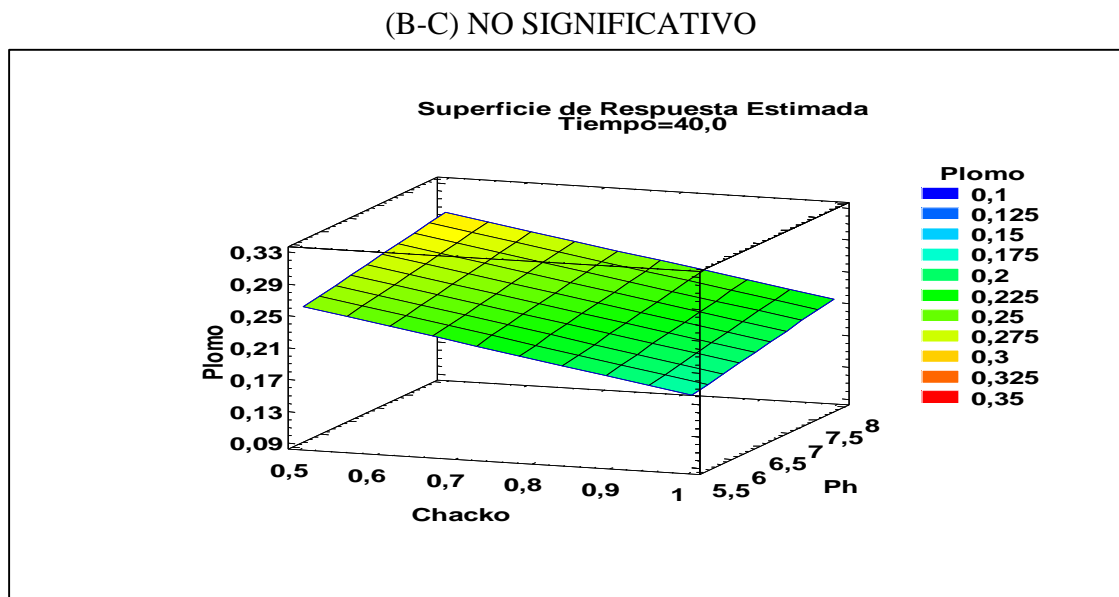


**Figura 28:** Superficies de respuestas adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables tiempo-chacko (A-B).

#### 4.7.3. Grafica de superficies de respuestas tridimensional adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables cantidad adsorbente-pH (B-C)

En la Figura 28, de la gráfica de Superficies de Respuestas de las variables cantidad adsorbente chacko-pH (B-C), son no significativos al utilizarse estas dos variables para adsorción de plomo, cuya concentración de adsorción en el equilibrio es

de (q) de [0.3 mg (Pb)/ 0,5 g de chacko] que aún queda en el agua residual, para un tiempo de agitación de 40 minutos a pH de 8,5.

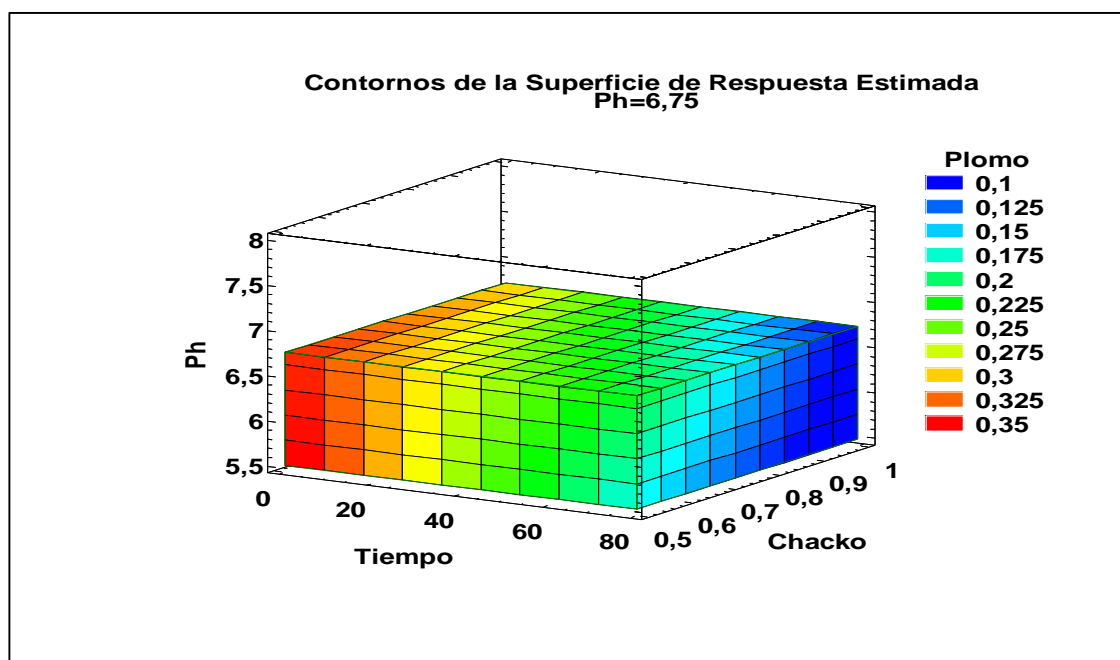


**Figura 29:** Superficies de respuestas adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables cantidad adsorbente chacko-ph (A-C).

#### 4.7.4. Grafica de superficies de respuestas tridimensional adsorción de plomo de aguas residuales de mina para variables tiempo-cantidad adsorbente Chacko-pH (A-B-C)

En la Figura 29, de la gráfica de Superficies de Respuestas de las variables tiempo-cantidad del adsorbente chacko-pH (A-B-C), son significativos al utilizar estas tres variables para obtener una adsorción de plomo en el equilibrio (q) de [0.1 mg (Pb)/ 1 g chacko] que aún queda en el agua residual, para un tiempo de agitación de 70 minutos y a un pH de 5.5

ABC SIGNIFICATIVO



**Figura 30:** Superficies de Respuestas Adsorción de Plomo de Aguas residuales de mina para Variables Tiempo-Cantidad adsorbente chacko-pH (A-B-C).

**4.7.5. Optimización de respuesta**

Meta: remoción de Plomo de aguas residuales de mina

$$\text{Valor óptimo} = 0,1 \text{mg.g}^{-1}$$

**Tabla 31:** Valores óptimos de las variables respuesta.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Tiempo (min)	30,0	70,0	70,0
Chacko (g)	0,5	1,0	1,0
pH	5,5	8,0	5,5

La tabla 31, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual por proceso de adsorción por el adsorbente chacko minimiza o adsorbe al ion Plomo contenido en el agua residual de mina sobre la región indicada. Para el cual las variables optimas fueron con la combinación de un tiempo de agitación de 70 minutos, con una

cantidad de 1 gramo del adsorbente chacko y a un nivel de pH de 5,5, para el cual se obtuvo un resultado de adsorción de equilibrio de 0,1 mg (Pb)/g chacko.

#### **4.8. AJUSTE A UN MODELO DE EQUILIBRIO PARA ADSORCIÓN DE PLOMO PB (II)**

El proceso de adsorción por la fase sólida (sorbente chacko (*Hidralgirita*), y en la fase líquida (solvente agua residual de mina) que contiene la especie disuelta que va a ser adsorbida (sorbato ion metálico plomo); para que ocurra adsorción debe existir afinidad entre el sorbente y sorbato, que es atraído hacia el sólido adsorbente por diferentes enlaces dentro del proceso hasta establecerse un equilibrio entre el sólido adsorbente y el sorbato disuelto a una concentración final ( $C_f$ ) en la fase líquida. El equilibrio manifestado es evaluado por diferentes modelos matemáticos, llamados isothermas de adsorción que viene a ser la cantidad de sorbato retenido y la que permanece en la disolución cuando alcanza el equilibrio (Ho *et al.*, 2000).

Los modelos de isothermas más utilizados son los modelos de Freundlich y el modelo de Langmuir; modelos isotérmicos que se utilizaron para su evaluación en el presente trabajo.

El estudio del isoterma de equilibrio de la adsorción del plomo Pb (II) se realizó en disoluciones acuosas con una variación de concentración inicial ( $C_o$ ) de 0,30 a 0,70 mg.L<sup>-1</sup>, o en unidades de 300 a 700 µg. L<sup>-1</sup>, a temperatura ambiente, con un tiempo de agitación de 70 minutos, con cantidad de 1 gramo de adsorbente, a pH de 5,5 y una agitación a 120 RPM en proceso batch; cuyos valores del % de adsorción y retención ( $q$ ) de plomo Pb (II) se muestran en la tabla 32 en unidades de concentración de:  $C_o$  (mg.L<sup>-1</sup>),  $C_f$  (mg.L<sup>-1</sup>),  $C_e$  (mg.L<sup>-1</sup>) y  $q$  (mg.g<sup>-1</sup>).

**Tabla 32:** Proceso de adsorción batch a diferentes concentraciones de plomo Pb (II).

n	Co (mg/L)	Cf (mg/L)	Ce (mg/L)	q (mg/g)	%A
1	0,30	0,032	0,268	0,027	89,33
2	0,40	0,045	0,355	0,036	88,75
3	0,45	0,072	0,378	0,038	84,00
4	0,50	0,076	0,424	0,042	84,80
5	0,55	0,084	0,466	0,047	84,72
6	0,60	0,088	0,512	0,051	85,33
7	0,65	0,092	0,558	0,056	85,84
8	0,70	0,095	0,605	0,061	86,42

FUENTE: Laboratorio de Tecnología de aguas Facultad de Ingeniería Química UNA-Puno.

Donde:

Co : Concentración inicial de Pb (II), en la disolución, (mg/L)

Cf : Concentración final de Pb (II), en la disolución, (mg/L)

q : Pb (II) retenido por el sorbente chacko, (mg/g)

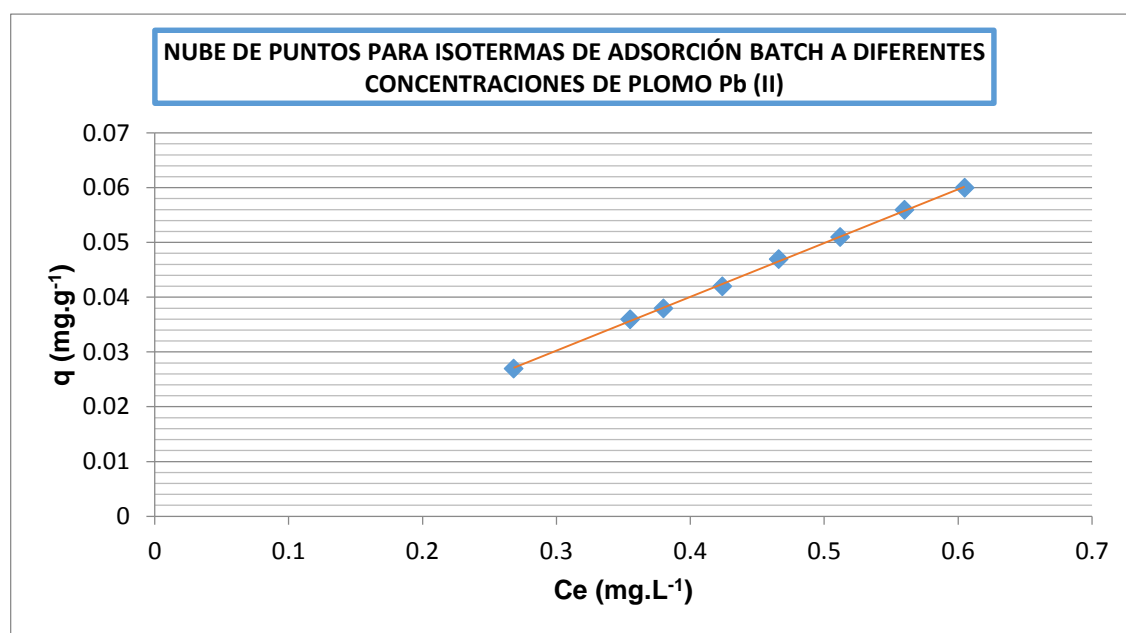
Ce : Concentración de equilibrio de Pb (II) adsorbente-solvente, (mg/L)

Para las evaluaciones de las isotermas de equilibrio de adsorción del plomo Pb (II), por los modelos de Freundlich y de Langmuir estas concentraciones son utilizados en unidades de: Co ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), Cf ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), Ce ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y q ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) tal como se muestran en la tabla 33.

**Tabla 33:** Proceso de adsorción batch a diferentes concentraciones de plomo Pb (II).

N	Co ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Cf ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Ce ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	q ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	%A
1	300	32	268	26,8	89,33
2	400	45	355	35,5	88,75
3	450	72	378	37,8	84,00
4	500	76	424	42,4	84,80
5	550	84	466	46,6	84,72
6	600	88	512	51,2	85,33
7	650	92	558	55,8	85,84
8	700	95	605	60,5	86,42

FUENTE: Laboratorio de Tecnología de aguas Facultad de Ingeniería Química UNA-Puno.

**Figura 31:** Proceso de adsorción batch a diferentes concentraciones de plomo Pb (II).

En la figura 30, se muestra el avance de la isoterma de adsorción batch de Pb (II) a diferentes concentraciones iniciales ( $C_o$ ) de 0,30 a 0,70  $\text{mg.L}^{-1}$ , a temperatura ambiente, con un tiempo de agitación de 70 minutos, con una cantidad de 1 gramo de adsorbente, a pH de 5,5 y una agitación a 120 RPM en proceso batch. La capacidad de adsorción ( $q$ ) de Pb (II) por el sorbente chacko, después de alcanzar el equilibrio ( $C_e$ ), los resultados

experimentales se han interpretado según el ajuste de las isothermas del modelo de Freundlich y del modelo de Langmuir.

#### - **Isoterma de Freundlich**

El modelo isotérmico de Freundlich admite que el adsorbente posee superficie heterogénea y con diferentes afinidades en los sitios de adsorción. En el proceso de adsorción, en el adsorbente primero serán ocupadas las posiciones de mayor afinidad y posteriormente el resto del adsorbente es ocupado para diferentes afinidades de sorbatos, asumiéndose que la adsorción es una interacción de tipo físico.

Freundlich (1906) al estudiar la adsorción de un carbón de origen animal encuentra una relación de modelo potencial entre el soluto y la concentración de equilibrio de adsorción, expresado por la ecuación de:

$$q = K_f C_e^{1/n} \quad (14)$$

Donde:

q : Cantidad del ion metálico retenido por unidad de masa del sorbente, mg.  
g<sup>-1</sup>

Ce : Concentración de equilibrio de Pb (II) en fase del adsorbente sólido, mg.  
L<sup>-1</sup>

K<sub>f</sub> : Constante de equilibrio, (mg. g<sup>-1</sup>) (L. mg)<sup>1/n</sup>

n : Constante relacionada con la afinidad entre el sorbente y el sorbato.

La ecuación 14, se linealiza tomando sus logaritmos:

$$\text{Log } q = \text{Log } K_f + (1/n) \text{Log } C_e \quad (15)$$

Al representar  $\text{Log } q$ , frente a  $\text{Log } C_e$ , de esta se obtiene una nueva ecuación donde la pendiente representa a  $(n)$  y la ordenada en el origen representa a  $(K_f)$ . (Miranda, Zea, N. 2017)

En la tabla 34 se muestra los valores de los parámetros del proceso de adsorción del plomo  $\text{Pb (II)}$ , para representar las isothermas de Freundlich y de Langmuir.

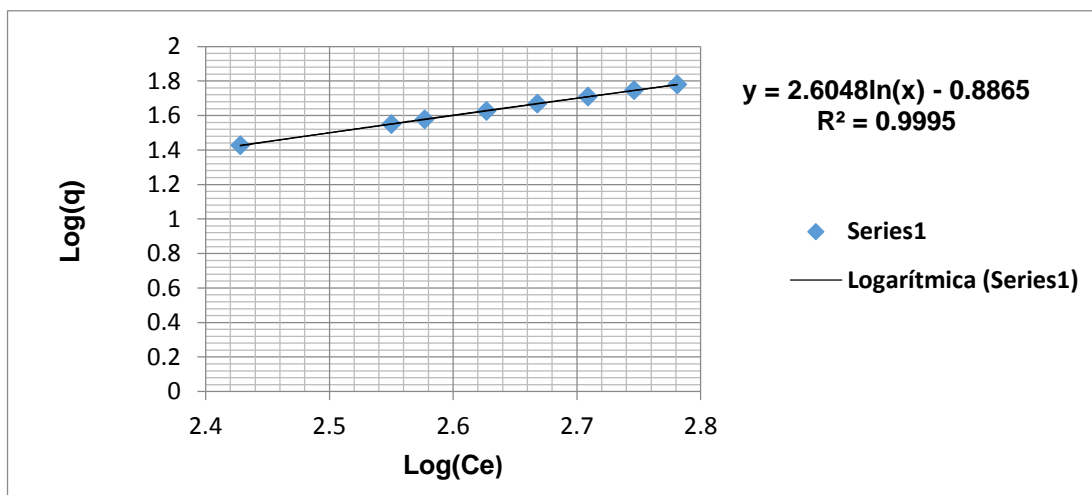
**Tabla 34:** Proceso de asorción batch a diferentes concentraciones de plomo  $\text{Pb (II)}$ .

N	$C_f (\mu\text{g.L}^{-1})$	$q (\mu\text{g.g}^{-1})$	$C_e (\mu\text{g.L}^{-1})$	$\text{Log}(q)$	$\text{Log}(C_e)$	$(C_f/q)$
1	32	26,8	268	1,428	2,428	1,194
2	45	35,5	355	1,550	2,550	1,267
3	72	37,8	378	1,577	2,577	1,904
4	76	42,4	424	1,627	2,627	1,792
5	84	46,6	466	1,668	2,668	1,802
6	88	51,2	512	1,709	2,709	1,718
7	92	55,8	558	1,746	2,746	1,648
8	95	60,5	605	1,781	2,781	1,570

FUENTE: En base de la tabla 33.

En la figura 32, se muestra el ajuste de los datos experimentales a la isoterma de Freundlich, proceso que se desarrolló a condiciones de: temperatura a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , a  $\text{pH } 5.5$ , con  $1\text{ g.L}^{-1}$  de adsorbente chacko, para un tiempo de contacto por 70 minutos y agitación a 120 RPM.





**Figura 32:** Modelo del isoterma de equilibrio de Freundlich para adsorción de Pb (II).

El equilibrio de adsorción del modelo del isoterma de Freundlich si reporta resultados con valores de  $n > 1$ , indica que existe alta afinidad entre el adsorbente y el sorbato, valor que indica que es aceptable el proceso de adsorción para el modelo del isoterma de Freundlich.

En la tabla 35, se reportan los valores de los parámetros obtenidos para el modelo de isoterma de Freundlich.

**Tabla 35:** Valores para el modelo de la isoterma de Freundlich.

T °C	$K_f$	n	1/n	$R^2$
20	0,8865	2,6048	0,3839	0,9765

FUENTE: Elaboración propia.

En el proceso de equilibrio de adsorción del modelo de Freundlich, al evaluar el valor de  $(1/n)$ ; si los valores están comprendidos entre 0,1 a 1,0 indica que el proceso de adsorción es altamente favorable (Namasivayam y Höll, 2004), de las evaluaciones de adsorción del modelo de Freundlich para el plomo Pb (II) por el adsorbente chacko (*hidralgirita*) se tiene el valor de  $(1/n)$ : de 0,3839; por lo tanto la adsorción es altamente favorable, con una correlación de adsorción de  $R^2$  de 0,9765.

## - ISOTERMA DE LANGMUIR

El modelo de Langmuir, es utilizado para estudiar la adsorción de un soluto desde una fase líquida; en este modelo la atracción entre los iones del metal y la superficie del material adsorbente se basa en las fuerzas físicas electroestáticas o de Van der Waals, se asume que la adsorción ocurre en sectores específicos de la superficie del adsorbente y una vez que el ion ocupa un lugar, no puede ocurrir otra vez otra adsorción en este mismo sitio (Davis *et al.* 2003). El modelo de la isoterma de Langmuir es representado por la ecuación:

$$q_e = \frac{b Y_m C_f}{1+bC_f} \quad (16)$$

Donde:

$q_e$  : Cantidad del ion metálico retenido por unidad de masa de sorbente,  $\mu\text{g. g}^{-1}$

$C_f$  : Concentración en equilibrio del ion metálico en la fase líquida,  $\mu\text{g. L}^{-1}$

$Y_m$  : Constante de Langmuir que expresa la máxima capacidad de sorción para una mono capa completa,  $\mu\text{g. g}^{-1}$

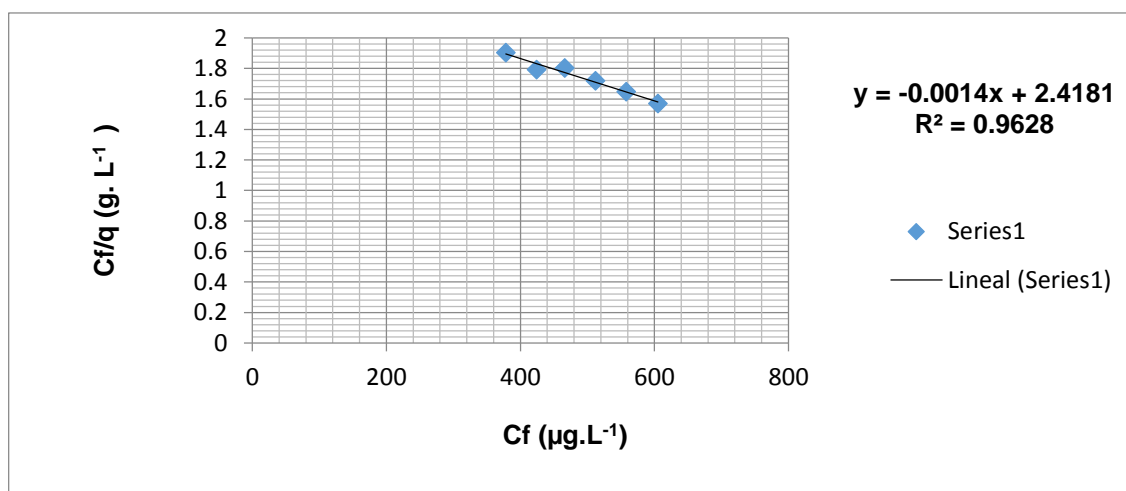
$b$  : Constante de Langmuir que expresa la afinidad entre el sorbente y el sorbato,  $\text{L. } \mu\text{g}^{-1}$

La ecuación (17), puede ser linealizada en la forma siguiente:

$$\frac{C_f}{q_e} = \frac{1}{Y_m x b} + \frac{C_f}{Y_m} \quad (17)$$

Representado  $C_e/q_e$  frente a  $C_e$ , se obtiene una ecuación lineal cuya pendiente determina el valor de  $Y_m$  y el intercepto en la ordenada es el valor  $b$ . En la figura 33 y la

tabla 36, se presenta el arreglo al modelo cinético experimental de Langmuir, las condiciones del proceso de adsorción para diferentes concentraciones de plomo Pb (II) por el adsorbente chacko (*hidralgirita*) se desarrolló a temperatura de 20 °C, a pH 5,5, con 1 g.L<sup>-1</sup> de adsorbente chacko, para un tiempo de contacto por 70 minutos y agitación a 120 RPM.



**Figura 33:** Modelo de langmuir para equilibrio de adsorción de Pb (II).

El modelo de Langmuir reproduce en forma satisfactoria la adsorción del ion plomo Pb (II), con una saturación prematura de las fuerzas físicas electroestáticas o de Van der Waals, en su mono capa, (Qingbiao *et al.*, 2004), cuyos datos experimentales muestran una pendiente negativa de  $Y_e$ :  $-0,0014$ : a una correlación  $R^2$  de 0,9628 de incertidumbre de adsorción, y comparado al valor de  $R^2$  0,9765 del modelo de Freundlich, explica que el modelo de Freundlich es el que mejor explica la adsorción de Pb (II) a bajas concentraciones, tal como ocurre con otros adsorbentes (Volesky y Holan, 1995).

**Tabla 36:** Capacidad máxima de biosorción ( $Y_m$ ) y afinidad sorbente-sorbato ( $b$ ) para adsorción de Pb (II).

$Y_m, (\mu\text{g. g}^{-1})$	$b, (\text{L. } \mu\text{g}^{-1})$	$T, (^\circ\text{C})$	$R^2$
- 0,0014	2,4181	20	0,9628

FUENTE: Elaboración propia.

En el campo de biosorción reportan diversos valores para la capacidad máxima de biosorción ( $Y_m$ ) que dependen del tipo de biosorbente y de las condiciones del proceso. La tabla 37, muestra la capacidad máxima de adsorción de iones Pb y Cr empleando distintos materiales de adsorbentes.

**Tabla 37:** Capacidad máxima de biosorción ( $Y_m$ ) de Cr (VI) empleando distintos materiales sorbentes.

BIOSORBENTE	$Y_m, \text{mg/g}$	REFERENCIAS
Biopolímeros de alginato	0,83 (30°C)	Bajpai <i>et al.</i> (2004)
Carbón de cascara de coco	2,18 (30°C)	Babel y Kurniawan (2004)
Carbón activo serrín del árbol del coco	3,46 (30°C)	Selvi <i>et al.</i> (2001)
Serrín pirolizado	2,29 (40°C)	Hamadi <i>et al.</i> (2001)
Corcho	19,50 (25°C)	Bayley <i>et al.</i> (1999)
Quitosan	29,00 (30°C)	Bayley <i>et al.</i> (1999)

Los valores determinados en la isoterma de Langmuir, permiten evaluar el equilibrio  $R_L$  de adsorción; definido por la expresión siguiente:

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_o} \quad (18)$$

Donde:

$b$ : constante de Langmuir

$C_o$ : concentración inicial de Pb (II),  $\mu\text{g. L}^{-1}$

El parámetro de equilibrio  $R_L$  indica el tipo de afinidad del isoterma, si sus equivalencias están comprendidos entre 0 y 1 es un sistema isotérmico favorable, si los valores tienden hacia 0, la adsorción es muy favorable en condiciones experimentadas con el adsorbente (Namasivayam y Höll, 2004), y el valor alto de  $b$  indica la alta afinidad del biosorbente por el soluto (McKa *et al.*, 1982), (Namasivayam *et al.*, 2004). Las pruebas desarrolladas para las concentraciones inicial del ion plomo Pb (II) de Co: 300  $\mu\text{g. L}^{-1}$  a Co: 700  $\mu\text{g. L}^{-1}$  muestran los valores para Co: 300  $\mu\text{g. L}^{-1}$  de  $R_L = 0,00137$  y para Co: 700  $\mu\text{g. L}^{-1}$  se tiene el valor de  $R_L = 0,00059$  cantidades que explican se tiene mayor adsorción a un sistema isotérmico favorable o relacionado al control estricto de la temperatura experimental de 20 °C para la adsorción, por lo tanto los valores de  $R_L$  son favorables en las condiciones experimentadas, debido a que se encuentran comprendidos entre 0 y 1; siendo altamente favorable a bajas concentraciones iniciales Co de Pb (II), y al incrementar estas concentraciones  $R_L$ , tiende hacia 0, y se tiende a ser irreversible (Namasivayam *et al.*, 2004).

#### **4.9. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ADSORCIÓN DE PLOMO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE MINA**

Las pruebas de adsorción de plomo Pb (II) de las aguas residuales de mina, fueron sometidos al proceso de adsorción con la arcilla chacko (*Hidralgirita*), desarrollados con muestras de aguas residuales de mina; de la concesión minera Tumi de Oro de la Rinconada, del Distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, Región Puno.

Los resultados reportan los análisis de Pb (II) en aguas residuales de mina antes y después del proceso de tratamiento, en una primera fase por adsorción utilizando arcilla chacko (*Hidralgirita*) y una segunda fase por proceso de floculación, sedimentación utilizando cal artesanal, los resultados se muestran en la tabla 38 y 39.

**Tabla 38:** Remoción de plomo Pb (II) de agua residual de mina utilizando adsorbente chacko (hidralgiritita).

Fase (I)	Co (mg.L <sup>-1</sup> )	Cf (mg.L <sup>-1</sup> )	q (mg.g <sup>-1</sup> )	% A
Adsorción	0,320	0,120	0,20	62,50

**Tabla 39:** Remoción de plomo Pb (II) de agua residual de mina por coagulación floculación utilizando cal artesanal y sedimentación por flujo ascendente.

Fase (II)	Co (mg.L <sup>-1</sup> )	Cf (mg.L <sup>-1</sup> )	q (mg.g <sup>-1</sup> )	% A	NTU <sub>o</sub>	NTU <sub>f</sub>	% NTU
Floculación	0,32	0,099	0,221	68,80	46	5,0	89,13

Donde:

Co = concentración inicial Pb (mg.L<sup>-1</sup>)

Cf = concentración final Pb (mg.L<sup>-1</sup>)

q = capacidad de equilibrio de adsorción (mg Pb. g<sup>-1</sup> chako)

%A = % Adsorción de Pb

NTU<sub>o</sub> = Turbiedad del agua residual de mina con tratamiento chacko

NTU<sub>f</sub> = Turbiedad del agua residual de mina con tratamiento de cal

## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se utilizó adsorbente arcilla chacko (*hidralgirita*) para la remoción de plomo Pb (II) de soluciones acuosas; obteniéndose el 83,33 %A de adsorción, con capacidad de equilibrio (q) de 0,050 mg.g<sup>-1</sup>; utilizando los valores de los parámetros óptimos de cantidad de adsorbente chacko, pH y tiempo de agitación a 120 RPM. - Para el tratamiento de agua residual de mina, se empleó 120 litros, obteniéndose una remoción de plomo Pb (II) de 62,50 %A de adsorción, con capacidad de equilibrio (q) de 0,20 mg.g<sup>-1</sup>; utilizando los valores determinados de los parámetros óptimos de cantidad de adsorbente chacko, pH y tiempo de agitación a 30 RPM. - Para el proceso de floculación-sedimentación de flujo ascendente batch con Cal (CaO) artesanal, se utilizó 120 litros de agua residual de mina, obteniéndose una remoción de plomo Pb (II) de 68,80 %A y una eliminación de turbiedad de 89,13 %NTU, con capacidad de equilibrio de adsorción (q) de 0,221mg.g<sup>-1</sup>; utilizando los valores de los parámetros óptimos de cantidad de adsorbente chacko, pH y tiempo de agitación por 70 minutos a 120 RPM y a partir de este tiempo se utilizó 8,4 g, de Ca(OH)<sub>2</sub> equivalente a 6,36 g de CaO, cal artesanal para flocular la turbiedad del agua residual de mina, con una agitación a 30 RPM, por 36 minutos.

**SEGUNDA:** La caracterización de la arcilla chacko (*hidralgirita*) fue determinado por Difracción de Rayos X, cuya estructura molecular presenta los componentes de Oxido de silicio SiO<sub>2</sub> en un 41,40%; Hidróxido silicato de aluminio y potasio K (Al<sub>4</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>9</sub>(OH)<sub>3</sub>) en un 51,15%; y Silicato de potasio, sodio y aluminio (Na,K)(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>8</sub> en un 7,19%. - La caracterización de la cal oxido de calcio CaO, fue determinado por métodos de gravimetría y volumetría, con características de estado sólido, de apariencia blanquecino,

de densidad de 1,2 a 1,3 g. mL<sup>-1</sup>, con un pH de 7,50 a 8,80; con una pureza de cal (CaO) útil de 65% y pureza como Ca(OH)<sub>2</sub> de 66%.

**TERCERA:** En el proceso experimental discontinuo batch en soluciones acuosas para adsorción de plomo Pb (II), se determinaron las variables óptimas de tiempo de agitación por 70 minutos, para una cantidad de adsorbente chacko (*hidralgirita*) de 1 g. L<sup>-1</sup> y pH de 5,5. - La isoterma de mejor ajuste en el proceso de adsorción batch, para remoción de plomo Pb (II) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina, utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*); fue el modelo de Freundlich, que reproduce la remoción del ion plomo Pb (II), a una correlación R<sup>2</sup> de 0,9765 de incertidumbre de adsorción; valor favorable para adsorción de Pb (II) a bajas concentraciones, definido por su constante de afinidad entre sorbente y sorbato (n), que si n>1, n = 2,6048 indica alta afinidad entre el adsorbente y el sorbato, y si el valor 1/n (1/n = 0,3839) está comprendido entre 0,1 a 1,0 explica que el proceso de adsorción es altamente favorable.

**CUARTA:** En el tratamiento de aguas residuales de mina, por proceso de adsorción, floculación-sedimentación de flujo ascendente batch, la remoción de plomo Pb (II), por adsorción utilizando arcilla Chacko (*hidralgirita*) fue del 68,80 %A y por floculación-sedimentación con cal artesanal se remociono la turbiedad en un 89,13% NTU.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Evaluar el proceso de remoción de plomo Pb (II) por adsorción con chacko (*Hidralgirita*) y por floculación-sedimentación por flujo ascendente con control de temperatura, debido que a mayor temperatura mayor rendimiento en la remoción de iones metálicos y de turbiedad por floculación-sedimentación en el tratamiento de aguas residuales.

## VII. REFERENCIAS

- Aguilar, M., Gorokhovskiy, A. y Escalante, J. (2009). *Remoción de Plomo de Soluciones acuosas por Titanato de Potasio dopado con Sílice*. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3), 125-132.
- Alessio, L. (1988) *Relationship between “chetable lead” and the indicator of exposure effect in current and past occupational exposure*. Sci total Environ 71(3), 293-9.
- Aranibar, J. (2008). *Capacidad Secuestrante de Micotoxinas de la Arcilla/Chacko.- Macla*. [http://www.ehu.es/index.php.sem/macla.articulo/macla6/Macla6\\_.pdf](http://www.ehu.es/index.php.sem/macla.articulo/macla6/Macla6_.pdf)
- Ansari, M., Marr, L. y Tariq, N. (2004). Heavy metals in marine pollution perspective, a mini review. Journal of Applied Sciences, 4 (1), 1-20.
- Ansari, M. y Abdul, M. (2004). *Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater*. Bioresource Technology : 3149–3153.
- Barrio, S. (2011). *Propiedades Terapéuticas de la Arcilla Chaco*. Saludbio.com. <http://saludbio.com/index/articulo/arcilla-propiedades-indicaciones>
- Barry, P. (1988). *Distribution and storage of lead in human tissues*. The biogeochemistry of lead in the environment. Part B. North Holland Biomedical Press, Amsterdam. Edit. Elsevier.
- Baricelli, P., De Sousa, L., De Fuentes, J. y Lopez, F. (2000). *Gel de Sílice modificado como absorbente de Niquel, Plomo, Cromo en aguas residuales*. Universidad de Carabobo, Centro de Investigación Química .Facultad de Ingeniería. Bárbula. Venezuela.

- Castro, C. (1998). *Estudios de remoción da Cadmio y Plomo de aguas residuales industriales por adsorción empleando arcillas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Chacón, M. (2011). *Chaco Arcilla Orgánica Comestible*.  
[http://greenthecuisine.blogspot.com/2011\\_10\\_01\\_archive.html](http://greenthecuisine.blogspot.com/2011_10_01_archive.html)
- Chen, S. y Ghate, Ch. (2004). *Estudio comparativo de polifenoles y determinación de la presencia citoquininas en Lupinus mutabilis Sweet y Zea mays*. Rev cubana plant med. Nueva Granada.
- Chong, H., Jung, H., Chung, H., Lee, Y. y Yang, J. (1998). *Removal of heavy metals from aqueous solution by apple residues*. Process Biochemistry, 33(2), 205-211.
- Chu, K. y Hashim, M. (2001). *Adsorption of Cooper from polyvinyl alcohol immobilized seaweed biomass*. Biotechnol. 21: 295-306.
- Crittenden, J. (2005). Water Treatment: Principles and Design, MWH, Capitulo 15, 1245-1359.
- Dabrowski, A. (2001). *Adsorption - from theory to practice*. Advances in Colloid and Interface Science 93: pp. 135-224.
- Davis, T., Volesky, B. y Mucci, A. (2003). *A review of the biochemistry of hevy metal biosorption by brown algae*. Water Research, 37, 4311-433
- Doran, P. (1998). *Principio de Ingeniería de los Bio procesos*. México. Editorial Acribia S.A.
- Eaton, W. (1994). *Toxicology, in Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine*. Philadelphia: WB Saunders Company: 116-117.

- Fiol, N. (2001). *Adsorcio de Cu (II) i Pb(II) de dissolucions aquoses de residus de pinyol d'oliva. Treball de recerca*. Programa de Doctorat de Medi Ambient de la Universitat de Girona.
- Garcés, L. y Coavas, S. (2012). *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (Citrus sinensis) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales*. Universidad de Cartagena.
- Gravilescu, M. (2004). *Removal of heavy metals from the environment by biosorption*. Engineering in Life Sciencies, Volume 4: 219-232.
- Grites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento De Aguas*. España. Edit. Mc. Grawhill.
- Guzmán, J., Sandoval, L. y Anguiano, J. (1992). *Adsorción de cromo hexavalente en sistema de lecho fijo empacado con alúmina modificada, XXVII Congreso de la Sociedad Química Mexicana*.
- Harte, J. y Doyle, M. (1989). *Biotechnology in Minerals and metal processing*. Society of Mining Engineers Inc., Littleton (Co): 209.
- Hidalgo, S. y Martínez, M. (2004). *Reutilización de residuos de raspo de uva para la eliminación de metales tóxicos en los efluentes líquidos*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Química
- Horsfall, M. y Abia, A. (2003). *Renoval of Cu (II), Pb (II) and Zn (II) ions from wastewater by cassava (Manihot esculentqa Crantz) waste biomass, African*.
- Landrigan, L. (1990). *Lead in the modern workplace*, American Journal of Public Health: 907-908.

- Lankford, P. y Eckenfelder, W. (1992). *Toxicity Reduction in Industrial Effluents* New York, Printed by Van Nostrand Reinhold: 18-34, 98-125.
- Langmuir, I. (1918). *The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum*. J. Am. Chem. Soc. 40, 1361–1403.
- Lavín, E. (2002). *Tratamiento De Aguas Residuales*. Edit. Limusa, México.
- Louzidou, K. y Haralambous, A., Loukatos y Dimitrakopoulou, D. (1992). *Natural zeolites and their ion exchange behavior towards chromium*. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 27(7): 1759-1769.
- Mamani, R. (2016). *Bioadsorción de Plomo (II) de las aguas del Rio Ayaviri, Mediante el uso de Salvado de Cebada*. (Tesis de pre grado), Facultad de Ingeniería química, Universidad Nacional del Altiplano.
- Martins, E. y Pardo, R. y Boaventura. (2004). *Cadmium (II) and Zinc (II) adsorption by the aquatic moss Fontinalis antipyretic: effect of temperature, pH and water hardness*. Water Research. 38 (3): 693-699
- Miranda, N. (2010). *Curso Taller Tratamiento de Aguas Residuales*. PENUMA, Octubre 2010. Facultad de Ingeniería Química, UNA-Puno, Perú.
- Miranda, N. (2017). *Biosorción de cromo Cr (VI) de soluciones acuosas por la biomasa residual de hojas de eucalipto (globulus labill)*. (Tesis doctoral). Escuela Post Grado Universidad Nacional del Altiplano UNA-Puno, Perú.
- Namasivayam, C. y Höll, H. (2004). *Chromium (II) removal in tannery wastewaters using chinese reed (Miscanthus sinensis), a fast growing plant*. Holz Als Roh-Und Werkstoff, 62(1) 74-80.

- Navarro, A., Ramos, K., Campos, K. y Maldonado, H. (2006). *Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: cationes divalentes y superficies activas*. Revista Iberoamericana de Polímeros. Volumen 7: 113 -126.
- Orozco, S. (2005). *Contaminación ambiental una visión desde la química* Edit. Thomson. Canadá.
- Pacco, G. (2012). *Biosorción del plomo en medio acuoso utilizando la semilla del tarwi (Lupinus mutabilis)* (Tesis de pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Pérez, M. (2002). *Remoción de Fosforo y Nitrógeno en Aguas Residuales Utilizando Un Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)*. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún México Octubre 2002.
- Qingbiao, L., Songtao, W., Gang, L., Xinkai, L., Xu, D., Daohua, S. Y. y Hu, H. (2004). Simultaneous biosorption of cadmium (II) and lead (II) ions by pretreated biomass of *Phanerochaete chrysosporium*. *Separation and Purification Technology*: 135-142.
- Ramallho, S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. D.F. México. Editorial Reverte
- Reyes, H. (2006). *Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa*. Ingeniería Química, Facultad de Ciencias químicas UANL. México.
- Rodenas, P. (2008). *Propiedades de la Arcilla*.  
[http://boliviarural.org/index.php?option=com\\_zoo&task=item\\_id=281&Itemid=](http://boliviarural.org/index.php?option=com_zoo&task=item_id=281&Itemid=)

- Soto, L. y Barbarín, C. (2004). *Remoción de metales pesados y componentes orgánicos en aguas residuales mediante agentes químicos*. Dpt. de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas UANL México .Revista Ingenierías 2004-Vol. VII, 23.
- Smedley, P. y Kinniburgh, J. (2002). *Arsénico en el agua y problemas en el ambiente*. Ingeniería ambiental. España: 45-55.
- Tapia, L. (2017). *Evaluación de Arsénico con Chacko (Hidralgirita) en aguas subterráneas contaminadas del Distrito de Taraco – Puno*. (Tesis, pre grado). UNA. Puno, Perú.
- Tenorio, G. (2006). *Remoción de Metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa*. Ingeniería Química. UANL. México: 59-64.
- Tejada, R. (2017). *Tratamiento y Sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de Los relaves mineros de La unidad operativa Minera Santiago, B*. (Tesis pre grado). Facultad Ingeniería de Minas, UNA. Puno Perú.
- Volesky, B. (2003). *Biosorption process simulation tools*. Hydrometallurgy. 71: 1-2.
- Volesky, B. (2003). *Sorption of cadmium and lead from aqueous by spent grain*. Process Biochemistry. 36: 59-64.
- Volesky, B. y Holan, Z. (1995). *Sunflower stalks as adsorbent for the removal of metal ions from wastewater*. Ind. Eng. Chem. Res.37: 1324-1328.
- Vigneswaran, D. y col. (2004). *Biosorption for the next century, El Escorial*. Junio. pp: 20-23.

- Vílchez, A. (2005). *Tratamiento de residuos líquidos y sólidos*. Avances en Biotecnología Ambiental. Chile.
- Water research 36. (2002). *Nutrient removal and sludge production in the coagulation–flocculation process*. Department of Chemical Engineering, University of Murcia, Campus Espinardo, 30071, Murcia, Spain.
- Wikipedia. (2006). *Enciclopedia libre*. Aguas Residuales. Edit. Wikipedia [www.wikipedia](http://www.wikipedia).
- Wikipedia. (2019). Enciclopedia Libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Plomo>.
- Yamamoto, C. y Montero, J. (2004). *Monitoreo y control del medio ambiente*. Separata del Curso de Calidad del Agua, Universidad Antofagasta, Chile.
- Zhou, L. y Guo, S. (2005). *Mechanisms of lead biosorption on cellulose/chitin beads*. Water Research, Vol. 39, (16): 3755-3762.



## ANEXOS

- Anexo A** : Certificado de los analisis de muestra
- Anexo B** : Trabajo de campo, recolección (in situ) de muestras en la mina  
Rinconada
- Anexo C** : Trabajo en los laboratorios de la facultad de Ingenieria Química  
UNAP
- Anexo D** : Decreto supremo N° 010-2010-MINAM
- Anexo E** : Decreto supremo N° 001-2015-VIVIENDA
- Anexo F** : Decreto supremo N° 004-2017- MINAM

## Anexo A: Certificado de análisis de muestras



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



## INFORME TÉCNICO N° 1906 – 18 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : RUBI YESSENIA MONROY QUISPE
  - 1.2 D.N.I. : 70123213
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 28 / 09 / 2018
  - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 03 / 10 / 2018
  - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 09 / 10 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE ARCILLA
  - 4.2 PROCEDENCIA : PUNO – SAN MIGUEL – ASILLO
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21.8°C; Humedad relativa: 65%
7. EQUIPOS UTILIZADOS : DIFRACTÓMETRO DE RAYOS X. PANALYTICAL, EMPYREAN.
8. RESULTADOS

COMPUESTO	FÓRMULA	RESULTADOS %	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	41.40	Difracción de Rayos X <sup>(*)</sup>
Hidróxido silicato de aluminio y potasio	K(Al <sub>4</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>9</sub> (OH) <sub>3</sub> )	51.15	
Silicato de sodio, calcio y aluminio	(Na,Ca)Al(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0.26	
Silicato de potasio, sodio y aluminio	(Na,K)(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	7.19	

<sup>(\*)</sup> Ver difractograma en Anexo.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Natalia Quispe G.  
Analista Químico  
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO

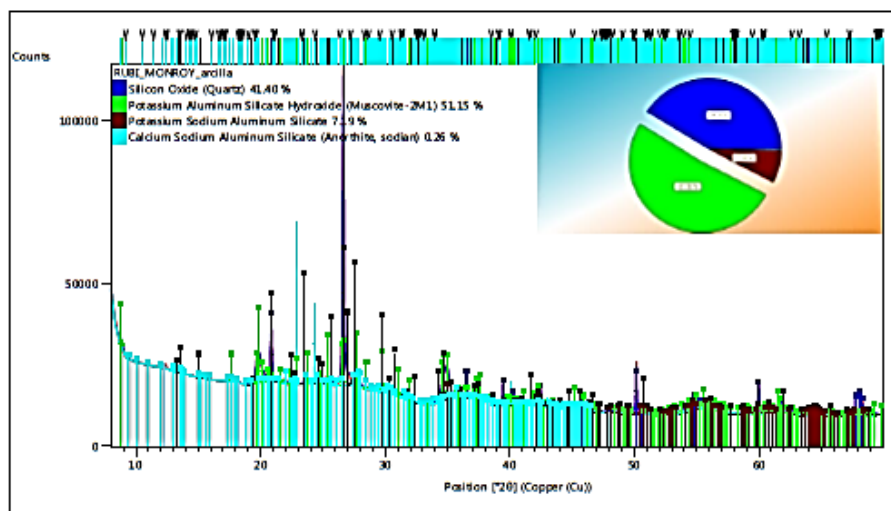


Figura N°1. Difractograma obtenido de la muestra.

**Anexo B:** trabajo de campo, recolección (in situ) de muestras en la mina Rinconada



Figura B1: Toma de muestra de agua residual de la mina Rinconada



Figura B2: Toma de coordenadas con el GPS

Anexo C: Trabajo en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Química UNAP



Figura C1: Reactivos



Figura C2: preparacion de la curva estandar



Figura C3. Muestras de agua residual de mina con los reactivos adicionados



Figura C4: Agitacion de la muestra con cantidades de chacko (hidralgiritita)



Figura C5: Filtrado de las muestras con chacko (hidralgirita)



Figura C6: muestras añadidas con reactivos listas para ser leídas en el espectrofotómetro UV-V-IR





Figura C7 : muestras siendo leidas en el espectrofotómetro UV-V-IR



Figura C8: Muestras

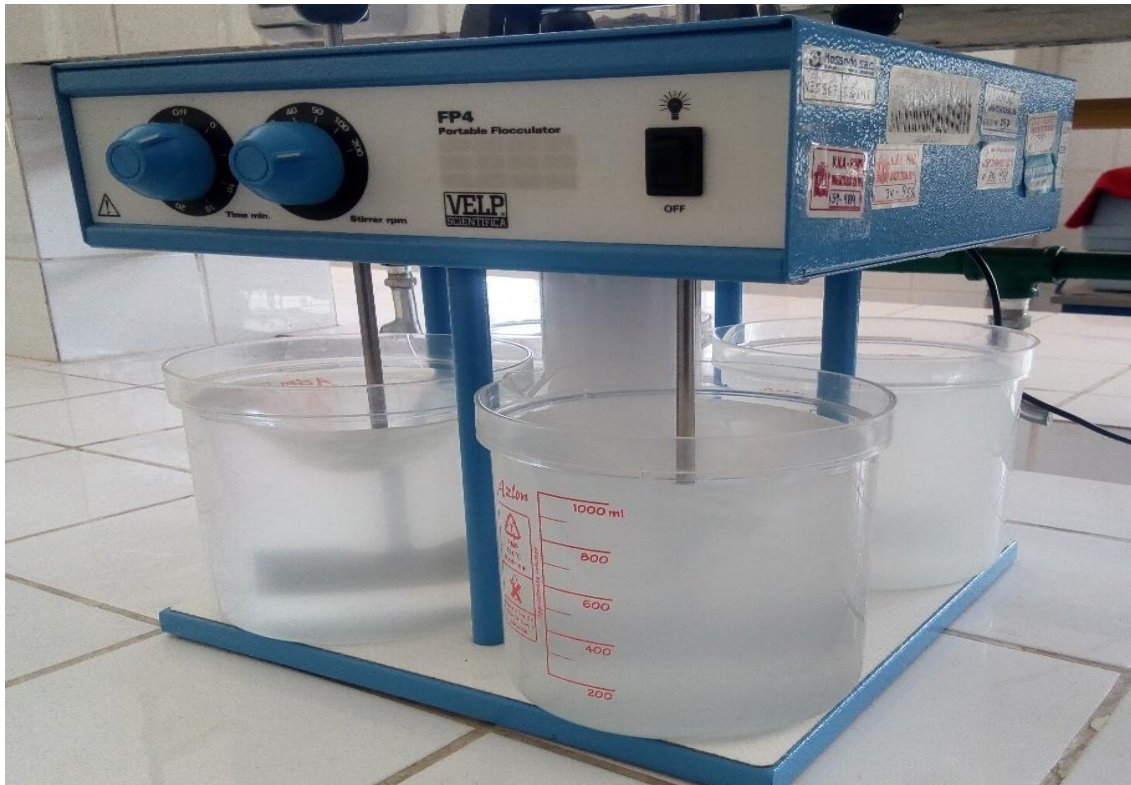


Figura C9: Prueba de jarras con cal artesanal



Figura C10: Sedimentador de flujo ascendente



Figura C11: Pruebas en el equipo de sedimentador de flujo ascendente



Figura C12: muestras de las pruebas realizadas en el sedimentador de flujo ascendente

Anexo D. 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 la 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 irroge el cumplimiento de la presente resolución se efectuarán con cargo al presupuesto del OSIPTEL, de acuerdo al siguiente detalle:

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

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

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

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

Regístrese, comuníquese y publíquese.

**ALAN GARCÍA PÉREZ**  
Presidente Constitucional de la República

**JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN**  
Presidente del Consejo de Ministros

**533964-7**

**AMBIENTE**

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

**DECRETO SUPREMO  
N° 010-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:

## CONSIDERANDO:

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

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

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

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

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

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

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

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

## DECRETA:

**Artículo 1°.- Objeto**

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

**Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación**

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

**Artículo 3°.- Definiciones**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

424116

 **NORMAS LEGALES**
El Peruano  
Lima, sábado 21 de agosto de 2010

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
- Manganeso
- Molibdeno
- Níquel
- Fenol
- Radio 226
- Selenio
- Sulfatos

Para tal efecto, el Ministerio de Energía y Minas dispondrá la modificación de los Programas de Monitoreo de las actividades mineras en curso de modo que se incluyan los parámetros aquí mencionados.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA**

**Única.-** Hasta la aprobación del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se aplicará supletoriamente, el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, aprobado por Resolución Directoral N° 004-94-EM/DGAA.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA**

**Única.-** Deróguese la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, salvo los artículos 7°, 9°, 10°, 11° y 12°, así como los Anexos 03, 04, 05 y 06, los cuales mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinte días del mes de agosto del año dos mil diez.

**ALAN GARCÍA PÉREZ**  
Presidente Constitucional de la República

**ANTONIO JOSÉ BRACK EGG**  
Ministro del Ambiente

**PEDRO SÁNCHEZ GAMARRA**  
Ministro de Energía y Minas

**ANEXO 01**

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Piomo 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 E. Decreto supremo N° 001-2015-VIVIENDA

544502


**NORMAS LEGALES**

 El Peruano  
Sábado 10 de enero de 2015

de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento; garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales;

Que, mediante Decreto Supremo N° 003-2011 VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 010 2012-VIVIENDA, se aprobó el Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, con la finalidad de establecer los procedimientos para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario;

Que, es necesario realizar modificaciones en las normas citadas en los considerandos precedentes a fin de actualizar la normativa, ajustarla a la realidad del país, de forma tal que permita a los prestadores de servicios de saneamiento efectuar una adecuada implementación de estas disposiciones, evitando así el deterioro de las instalaciones, maquinarias, equipos e infraestructura sanitaria, a fin de garantizar la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y el tratamiento de las aguas residuales;

De conformidad con lo dispuesto por el numeral 8) del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA;

DECRETA:

**Artículo 1.- Modificación del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario**

Modifícanse los artículos 2, 4, 5, 7, 8 y el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, los cuales quedarán redactados con el texto siguiente:

**"Artículo 2.- Aprobación de los Valores Máximos Admisibles (VMA) para el sector saneamiento**

Apruébase los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 que forman parte integrante de la presente norma.

Los usuarios no domésticos cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en el Anexo N° 1, deberán efectuar el pago adicional por exceso de concentración, conforme a lo establecido por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el Reglamento, incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

Los parámetros contenidos en el Anexo N° 2 no pueden ser sobrepasados. En caso de sobrepase dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio."

**"Artículo 4.- Pago por exceso de concentración en la descarga de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario**

Las EPS o las entidades que hagan sus veces, cobrarán a los usuarios no domésticos el pago adicional por exceso de concentración, de acuerdo a la normatividad vigente, respecto de los siguientes parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Aceites y Grasas (A y G), medidos en la caja de registro o en su defecto en un punto de muestreo antes de la red de alcantarillado sanitario adecuado para este procedimiento, conforme lo establece el Reglamento de la presente norma.

La metodología para la determinación de los pagos adicionales por exceso de concentración respecto de los VMA, será elaborada y aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS. Dicha metodología deberá ser incorporada en el Reglamento de Prestación de Servicios correspondiente a cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

**VIVIENDA, CONSTRUCCION  
Y SANEAMIENTO**

**Se modifican diversos artículos del Decreto Supremo N° 021-2009 VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario así como de su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2011 VIVIENDA y modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA**

**DECRETO SUPREMO  
N° 001-2015-VIVIENDA**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 6 de la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece que el Ministerio es el órgano rector de las políticas nacionales y sectoriales dentro de su ámbito de competencia, que son de obligatorio cumplimiento por los tres niveles de gobierno en el marco del proceso de descentralización, y en todo el territorio nacional;

Que, con Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, se aprobaron los Valores Máximos Admisibles (VMA)



Las EPS o las entidades que hagan sus veces, destinarán los recursos recaudados por los pagos por exceso de concentración en la descarga de aguas residuales no domésticas, prioritariamente a la implementación y el monitoreo de los Valores Máximos Admisibles y en la gestión integral de las aguas residuales".

**"Artículo 5.- Suspensión del Servicio de Alcantarillado Sanitario**

Las EPS o las entidades que hagan sus veces se encuentran facultadas en virtud de la presente norma a suspender el servicio de alcantarillado sanitario en los casos que se regulen en el Reglamento y que deriven de la vulneración de los Anexos N° 1 y N° 2 del presente decreto supremo."

**"Artículo 7.- Control de las aguas residuales no domésticas**

El monitoreo de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, estará a cargo de las EPS o las entidades que hagan sus veces, a través de laboratorios acreditados ante el INDECOPI, para realizar el análisis de aguas residuales en los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente decreto supremo. Los pagos deberán ser asumidos por el usuario no doméstico de acuerdo al procedimiento que el ente competente establecerá concordante con la presente norma.

La recolección de las muestras será realizada de manera inopinada, conforme al procedimiento establecido en el Reglamento de la presente norma".

**"Artículo 8.- Actualización de los VMA**

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento se encuentra autorizado a modificar los Valores Máximos Admisibles a través de una Resolución Ministerial. Para tal efecto, la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento, o la que haga sus veces, evaluará y, de ser el caso, sustentará la modificación y actualización de los parámetros de los Valores Máximos Admisibles, señalados en los Anexos N° 1 y N° 2, previo análisis y estudio técnico efectuado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, o las EPS o las entidades que hagan sus veces, de acuerdo a la caracterización del tipo de descarga no doméstica vertida a los sistemas de alcantarillado".

**"ANEXO N° 02 (1)**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN-	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr <sup>6+</sup>	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1000
Sulfuros	mg/L	S <sup>2-</sup>	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH <sub>3</sub> -N	80
pH	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/Lh	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando

como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo. Los parámetros establecidos en los Anexos N° 01 y N° 02, serán determinados a partir del análisis de muestras puntuales."

**Artículo 2.- Modificación del Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA**

Modifíquense los artículos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 20, 23, 24, la Quinta Disposición Complementaria Final y los Anexos I y II del Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2011 VIVIENDA, los cuales quedarán redactados con el texto siguiente:

**"Artículo 3.- De la mención a referencias**

Cualquier mención en el presente Reglamento

a: (...)

• "INDECOPI" se entenderá que está referida al "Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual".

• "EPS" se entenderá que está referida a la "Entidad Prestadora de Servicios".

**"Artículo 4.- De las definiciones**

Para efectos del presente Reglamento se entiende por:

1) **Aceites y grasas:** Son sustancias insolubles en agua y en líquidos menos densas que ella y solubles con disolventes orgánicos tales como nafta, éter, benceno y cloroformo, permaneciendo en la superficie de las aguas residuales dando lugar a la aparición de natas y/o espumas

2) **Agua residual no doméstica:** Descarga de líquidos producidos por alguna actividad económica comercial e industrial, distintos a los generados por los usuarios domésticos, quienes descargan aguas residuales producto de la preparación de alimentos, del aseo personal y de desechos fisiológicos.

3) **Caso fortuito:** Situación que consiste en un evento extraordinario, imprevisible e irresistible, resultado de las acciones de terceros que afectan el normal desarrollo del servicio de saneamiento.

4) **Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIU):** Es la clasificación internacional de referencia de las actividades económicas productivas, para facilitar un conjunto de categorías de actividad que pueda utilizarse para la elaboración de estadísticas por actividades.

5) **Contramuestra:** Es una muestra adicional que se toma en la misma oportunidad, bajo los mismos criterios que la muestra a ser analizada.

6) **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20° C).

7) **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

8) **Entidad Prestadora de Servicios:** La EPS pública, municipal, privada o mixta, constituida con el exclusivo propósito de brindar servicios de saneamiento en el ámbito urbano.

9) **Entidad que haga sus veces:** La Unidad de Gestión o el Operador Especializado o la Organización Comunal.

10) **Fuerza mayor:** Situación consistente en un evento extraordinario, imprevisible e irresistible, debido a hechos de la naturaleza.

11) **Laboratorio acreditado:** Es el laboratorio que ha obtenido el Certificado de Acreditación otorgado por el INDECOPI, para realizar el análisis de aguas residuales en los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA

**12) Muestra de parte:** Muestra realizada a través de laboratorio acreditado ante el INDECOPI, por cuenta y costo del Usuario No Doméstico, sin previo requerimiento, de forma voluntaria y bajo los procedimientos, criterios y disposiciones establecidos por el organismo competente.

**13) Muestra dirimente:** Muestra que se toma en la misma oportunidad que la muestra original a ser analizada y que la contramuestra, bajo los mismos criterios, para analizar y/o compararla en el caso que existan eventuales reclamos sobre la validez de los resultados de la muestra, de acuerdo a lo dispuesto en el procedimiento de resolución de quejas establecido por el INDECOPI.

**14) Muestra inopinada:** Muestra que será tomada por un laboratorio acreditado ante el INDECOPI, a solicitud de la EPS o la entidad que haga sus veces y en presencia de un representante de esta, sin previo aviso al Usuario No Doméstico.

**15) Muestra puntual:** Muestra tomada al azar en una hora determinada que se utiliza para evaluar todos los parámetros contenidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

**16) Pago adicional por exceso de concentración:** Es el pago que deberá ser requerido por las EPS o las entidades que hagan sus veces, y que será aplicado a los Usuarios No Domésticos, cuando superen los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, en base a la metodología aprobada por la SUNASS.

**17) Prestador de servicios:** La EPS o la Entidad que haga sus veces, que tenga a su cargo la prestación de los servicios de saneamiento.

**18) Reclamo:** Derecho de contradicción que goza todo Usuario No Doméstico, cuando surge una controversia entre este y la EPS o la entidad que haga sus veces, respecto de la aplicación del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, su Reglamento y/o sus normas conexas.

**19) Registro de Usuarios No Domésticos:** Base de datos de las EPS o las entidades que hagan sus veces, donde se identifican y clasifican a los usuarios del servicio de alcantarillado sanitario que descargan aguas residuales no domésticas y se registran los resultados de la caracterización de dichas descargas.

**20) Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Son partículas orgánicas o inorgánicas que son retenidas por una fibra de vidrio que posteriormente es secada a una determinada temperatura.

**21) Subcontratación:** Es el mecanismo a través del cual aquel laboratorio que encontrándose acreditado ante el INDECOPI para realizar el análisis de aguas residuales en alguno de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA y no alcanza la totalidad de estos, subcontrata a otro laboratorio acreditado ante el INDECOPI para que realice el análisis de aguas residuales solo de aquellos parámetros en los que aún no se encuentra acreditado.

El muestreo deberá ser realizado por el laboratorio acreditado que efectúe el análisis.

**22) Usuario No Doméstico:** Es la persona natural o jurídica que realiza descarga de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario.

#### **"Artículo 5.- De las obligaciones"**

Los Usuarios No Domésticos que descargan aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario, están obligados a:

a) Presentar anualmente la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, a la EPS o la entidad que haga sus veces, en aplicación de lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

b) Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales, cuando sus descargas excedan los VMA establecidos en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA y sus modificatorias.

c) Efectuar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 01 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS. Para el caso de prestadores de servicios de saneamiento distintos al de las EPS, se podrá tomar como referencia la metodología aprobada por la SUNASS, para su aplicación en el ámbito de su competencia.

d) Pagar el importe correspondiente a la toma de muestra inopinada, análisis y cualquier otro gasto

relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ante el INDECOPI, siempre que el valor del parámetro analizado sobrepase los VMA; en caso de no sobrepasar los VMA del parámetro analizado, el importe será asumido por la EPS o la entidad que haga sus veces.

e) Informar a la EPS o la entidad que haga sus veces, cuando la descarga de sus aguas residuales no domésticas presenten alguna modificación derivada de la ampliación o variación de las actividades que realiza el Usuario No Doméstico, dentro de un plazo que no deberá exceder los quince (15) días hábiles a partir de la ampliación o variación de sus actividades.

f) Brindar todas las facilidades, accesos e ingresos necesarios para que, en la oportunidad debida, el personal de la EPS o la entidad que haga sus veces y el laboratorio acreditado ante el INDECOPI, efectúe la toma de muestra inopinada.

g) Implementar el mecanismo o dispositivo especial para la toma de muestra inopinada, cuyo costo será asumido por el Usuario No Doméstico.

h) Asumir los costos asociados al incumplimiento, procesos y otras actividades adicionales que estén relacionadas con la implementación de los VMA, de acuerdo al procedimiento establecido por la SUNASS para el caso de las EPS, y para las demás entidades que hagan sus veces, se tomará como base el procedimiento desarrollado por la SUNASS.

i) Los Usuarios No Domésticos cuyas actividades estén clasificadas según la CIIU, deberán declarar, reportar y cumplir con las obligaciones que se establecen en el presente Reglamento, en función de los parámetros que para dichas actividades establezca el Ente Rector. Para aquellas actividades que no se han establecido parámetros, los Usuarios No Domésticos deberán cumplir con todos los parámetros señalados en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

j) No suspender, diluir y/o regular, de cualquier forma, el flujo de sus descargas de aguas residuales no domésticas antes o durante la toma de muestra o la toma de muestra inopinada por el personal del laboratorio acreditado ante el INDECOPI.

k) Cumplir con las demás disposiciones que se emitan para la regulación de la aplicación de los VMA".

#### **"Artículo 6.- De los derechos"**

Los Usuarios No Domésticos que descargan aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario, tienen derecho a:

(...)

f) Solicitar por escrito y por única vez, a la EPS o la entidad que haga sus veces, el otorgamiento de un plazo a fin de implementar medidas con la finalidad de adecuar sus descargas no domésticas a los VMA, en el caso establecido en el numeral 20.4 del artículo 20 del presente reglamento".

#### **"Artículo 7.- De las obligaciones"**

Las EPS o las entidades que hagan sus veces están obligadas a:

a) Solicitar al Usuario No Doméstico la presentación anual de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico conforme al Anexo I del presente Reglamento, según lo establecido en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

b) Registrar al Usuario No Doméstico una vez revisada y evaluada la Declaración Jurada de Usuarios No Domésticos, conforme al procedimiento establecido en el artículo 17 del presente Reglamento.

c) Emitir pronunciamiento, previa evaluación de la información presentada, y asignar un Código de Usuario No Doméstico.

d) Pagar el importe correspondiente a la toma de muestra inopinada, análisis y cualquier otro gasto relacionado a la labor realizada por el laboratorio acreditado ante el INDECOPI, siempre que el valor del parámetro analizado no sobrepase los VMA; en caso de sobrepasar el VMA del parámetro analizado, el importe será asumido por el Usuario No Doméstico.

e) Solicitar al Usuario No Doméstico el pago adicional por exceso de concentración por sobrepasar el o los parámetros de los VMA fijados en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS. Para el caso

de prestadores de servicios de saneamiento distintos a las EPS, se podrá tomar como referencia la metodología aprobada por la SUNASS, para su aplicación en el ámbito de su competencia.

f) Suspender temporalmente el servicio de alcantarillado sanitario por exceder los VMA de algún parámetro del Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, y en los casos que establezca el presente Reglamento;

g) Reponer el servicio de alcantarillado sanitario previa verificación del cumplimiento de los parámetros establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

h) Suspender el cobro del pago adicional por exceso de concentración al Usuario No Doméstico, previa verificación del cumplimiento de los parámetros del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

i) Comunicar a los Usuarios No Domésticos sobre la normatividad, las modificaciones y actualizaciones respecto a los VMA.

j) En caso fortuito o fuerza mayor, evaluar si temporalmente procede exonerar al Usuario No Doméstico del pago adicional por exceso de concentración de parámetros o de la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado.

k) Cobrar a los Usuarios No Domésticos el pago adicional por exceso de concentración, por sobrepasar los parámetros de VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS, según lo dispone el artículo 4 del Decreto Supremo antes indicado. En el caso de los prestadores de servicios distintos a las EPS, cobrarán a los Usuarios No Domésticos un pago adicional por exceso de concentración correspondiente por los VMA que sean excedidos de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, tomando como base la metodología establecida por la SUNASS.

l) Registrar de oficio al Usuario No Doméstico, en cualquiera de los casos establecidos en el literal 17.6 del artículo 17 del presente Reglamento.

m) Cumplir con las demás disposiciones que se emitan para regular la aplicación de los VMA".

#### **"Artículo 8.- De los derechos**

Las EPS o las entidades que hagan sus veces tienen derecho a:

a) Solicitar al laboratorio acreditado ante el INDECOPI que efectúe la Toma de Muestra Inopinada y el análisis de las descargas del Usuario No Doméstico que, según su criterio, amerite la revisión de uno o más parámetros de los VMA contenidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

b) Realizar estudios para caracterizar tipos de descargas no domésticas a fin de proponer su evaluación al MVCS, y de ser pertinente, solicitar la modificación y/o actualización de los parámetros contenidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

c) Solicitar adicionalmente al Usuario No Doméstico la presentación de algunos o de todos los parámetros establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, en el caso establecido en el numeral 17.2 del artículo 17 del presente Reglamento".

#### **"Artículo 11.- Del pago adicional por exceso de concentración**

Las EPS cobrarán a los Usuarios No Domésticos el pago adicional por exceso de concentración cuando hayan verificado excesos de los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, de acuerdo a la metodología establecida por la SUNASS.

Los prestadores de servicios distintos a las EPS, cobrarán a los Usuarios No Domésticos un pago adicional por exceso de concentración correspondiente por los VMA que sean excedidos de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, tomando como base la metodología establecida por la SUNASS".

#### **"Artículo 12.- De la oportunidad del cobro**

Cuando la EPS haya verificado que el Usuario No Doméstico se ha excedido uno o más de los VMA establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, aplicará lo dispuesto por la SUNASS. Para ello, emitirá el recibo que será remitido al Usuario No Doméstico junto con el costo de los análisis, la toma de

muestra inopinada y cualquier otro costo relacionado a la labor del laboratorio acreditado ante el INDECOPI.

La SUNASS emitirá las normas correspondientes para tal efecto, debiendo precisar los temas referidos a fechas de pago, conceptos facturables, falta de entrega de recibo, entre otros.

Los prestadores de servicios distintos a las EPS, tomarán como referencia lo dispuesto por la SUNASS para el cobro que corresponda".

#### **"Artículo 13.- De la inspección y control**

La inspección y control que efectuará la EPS o la entidad que haga sus veces, sin ser limitativo, consistirá en:

a) Revisión y verificación de la ubicación, acceso y características técnicas de la caja de registro de la conexión de alcantarillado sanitario o en su defecto en un punto de muestreo antes de dicha red, del lugar en donde se tomará la muestra correspondiente. Dicho punto de toma de muestreo debe estar ubicado en una zona exterior a las instalaciones del Usuario No Doméstico.

b) Toma de muestra y análisis por un laboratorio acreditado ante el INDECOPI de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, según corresponda.

c) Levantamiento del Acta de Toma de Muestra Inopinada, de ser el caso".

#### **"Artículo 16.- De los requisitos para registrarse**

Los documentos que debe presentar el Usuario No Doméstico para su registro ante la EPS o la entidad que haga sus veces, son los siguientes:

a) Declaración Jurada de Usuario No Doméstico de acuerdo al Anexo I del presente Reglamento, a la que deberá acompañar copia simple de los resultados del laboratorio y adicionalmente, de existir, el esquema de sus procesos unitarios y el diagrama de flujo del tipo de tratamiento que brinda al agua residual.

b) Copia legalizada de la vigencia de poder del representante legal.

c) Ficha de Registro Único de Contribuyente-Acreditación del Inicio de Actividades".

#### **"Artículo 17.- Del procedimiento para registro y/o actualización**

17.1 Los Usuarios No Domésticos presentarán a la EPS o a la entidad que haga sus veces, los requisitos establecidos en el artículo 16 del presente Reglamento, en un plazo máximo de cuarenta y cinco (45) días hábiles, contados a partir del requerimiento efectuado por la EPS o la entidad que haga sus veces.

17.2 Cuando la EPS o la entidad que haga sus veces, solicite por primera vez al Usuario No Doméstico la presentación de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico establecida en el Anexo I del presente Reglamento, ésta deberá contener los parámetros establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. Excepcionalmente, la EPS o la entidad que haga sus veces, previa evaluación técnica y el informe que lo sustente, podrá solicitar adicionalmente al Usuario No Doméstico la presentación de algunos o de todos los parámetros establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, tomando en consideración la actividad económica que realiza, de acuerdo a lo establecido en el Anexo aprobado en la Resolución Ministerial N° 116-2012-VIVIENDA o la norma que la sustituya. Para las posteriores presentaciones de la citada Declaración Jurada, el Usuario No Doméstico presentará los parámetros solicitados por la EPS o la entidad que haga sus veces, de acuerdo a la actividad económica que por procesos productivos realice conforme a la CIU, de acuerdo al Anexo aprobado en la Resolución Ministerial N° 116-2012-VIVIENDA o la norma que la sustituya.

17.3 Presentada la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, la EPS o la entidad que haga sus veces procederá a revisar y/o verificar la documentación requerida en el artículo 16 del presente Reglamento, y el cumplimiento de presentación de todos los parámetros de los VMA, de ser el caso, en un plazo que no podrá exceder los quince (15) días hábiles de recibida la documentación.

(...)  
17.5 Una vez subsanadas las observaciones señaladas en el numeral 17.4 del presente artículo, la EPS

o la entidad que haga sus veces, procederá a evaluar la documentación y el cumplimiento de los parámetros que deban ser presentados por el Usuario No Doméstico, en un plazo que no excederá los diez (10) días hábiles.

17.6 En caso el Usuario No Doméstico incumpla con presentar los requisitos establecidos en el artículo 16 del presente Reglamento, o incumpla con subsanar las observaciones efectuadas por la EPS o la entidad que haga sus veces, o las subsane fuera del plazo establecido en el presente artículo, la EPS o la entidad que haga sus veces, deberá proceder a registrar de oficio al Usuario No Doméstico en un plazo que no excederá los siete (07) días hábiles contados desde vencido el plazo correspondiente".

**"Artículo 18.- Del registro y/o actualización de la información del Usuario No Doméstico"**

Verificado el cumplimiento de los requisitos a los que se refiere el artículo 16 del presente Reglamento, la EPS

o la entidad que haga sus veces, según corresponda, procederá a registrar y/o actualizar la información del Usuario No Doméstico, asignándole el respectivo Código de Registro de Usuario No Doméstico".

**"Artículo 20.- Del procedimiento de monitoreo"**

(...)  
20.2 Si los resultados de los análisis presentados en la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico no superan los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2, según sea el caso, del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a actualizar el registro y la información del Usuario No Doméstico.

(...)  
20.4 En la primera oportunidad que el Usuario No Doméstico supere los VMA establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS

o la entidad que haga sus veces, notificará al Usuario No Doméstico que cuenta con un plazo máximo de sesenta (60) días calendario, contados desde el día siguiente de la notificación, para implementar las medidas necesarias para cumplir con los VMA o solicitar el otorgamiento de un plazo adicional para dicho fin, siguiendo el procedimiento establecido en los literales a) al f) siguientes. Sin perjuicio de ello, vencido el plazo antes mencionado sin que el Usuario No Doméstico presente dicha solicitud, la EPS

o la entidad que haga sus veces, procederá a realizar la suspensión temporal del servicio de alcantarillado sanitario. Para tal efecto, el procedimiento antes citado será el siguiente:

a) El Usuario No Doméstico, dentro del plazo establecido en el presente numeral, podrá solicitar por escrito y por única vez, a la EPS o a la entidad que haga sus veces, un plazo adicional a fin de implementar medidas para cumplir los VMA, adjuntando la documentación sustentatoria que contenga como mínimo lo siguiente:

- i) Propuesta técnica de las medidas que efectuará para adecuarse a los VMA;
- ii) Propuesta económica del costo total de las medidas que efectuará para adecuarse a los VMA; y,
- iii) Cronograma de implementación de las medidas propuestas.

b) La EPS o la entidad que haga sus veces, podrá otorgar por única vez un plazo, el cual no podrá exceder de dieciocho (18) meses, establecido de acuerdo a la evaluación que realice la EPS o la entidad que haga sus veces sobre la situación de las descargas de aguas residuales no domésticas de cada Usuario No Doméstico, el que se empezará a contar desde el día siguiente de la fecha de la notificación a que se refiere el presente numeral, realizada a dicho Usuario No Doméstico.

c) Presentada la solicitud, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a la evaluación indicada en el literal anterior en un plazo no mayor de diez (10) días hábiles, contados desde el día siguiente de presentada la solicitud.

En caso el Usuario No Doméstico presente información incompleta, se le otorgará un plazo de tres (03) días

hábiles para subsanarla, con lo que el plazo de diez (10) días hábiles mencionado en el párrafo precedente se suspende.

Presentada la información faltante dentro del plazo otorgado, la EPS o la entidad que haga sus veces evaluará la solicitud y de corresponder otorgará un plazo al Usuario No Doméstico para implementar las medidas propuestas, según lo establecido en el literal b) del presente numeral.

Si transcurrido el plazo para subsanar la información incompleta, el Usuario No Doméstico incumple con presentar dicha información requerida o la realiza fuera del plazo otorgado, se archivará el trámite y se procederá a la suspensión temporal del servicio.

d) De ser aprobada la solicitud, la EPS o la entidad que haga sus veces, comunicará al Usuario No Doméstico dicha decisión, señalando el plazo con el que cuenta para adecuar sus descargas al cumplimiento de los VMA.

En caso que la EPS o la entidad que haga sus veces desaproveche la solicitud presentada por el Usuario No Doméstico, se archivará el trámite y se procederá a la suspensión temporal del servicio.

e) A partir de la fecha de la comunicación realizada por la EPS o la entidad que haga sus veces, el Usuario No Doméstico, en un plazo no mayor a quince (15) días hábiles siguientes, contados desde el día siguiente de comunicado el plazo otorgado, deberá gestionar y presentar una garantía financiera de un Banco supervisado por la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS), que represente el treinta por ciento (30%) del costo total de las medidas presentadas según el ítem ii) del literal a) del presente numeral.

f) Presentada dicha garantía financiera, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a suscribir con el Usuario No Doméstico un acuerdo en el que se establecerá el plazo otorgado por única vez, a fin de implementar las medidas presentadas por dicho usuario y que le permitan cumplir con los VMA.

El acuerdo incluirá una Cláusula Penal, a fin de que el Usuario No Doméstico se obligue a pagar mensualmente a la EPS o la entidad que haga sus veces, el cien por ciento (100%) adicional al importe facturado por el servicio de alcantarillado sanitario, durante los seis (06) primeros meses de ejecución de las medidas aprobadas y el doscientos por ciento (200%) adicional por el mismo concepto, en caso el plazo del acuerdo suscrito sea mayor a seis (06) meses.

La EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a cobrar el importe correspondiente desde el siguiente mes de facturación, luego de suscrito el acuerdo, con retroactividad al día siguiente de notificado el Usuario No Doméstico en la situación descrita en el presente numeral.

g) Si transcurrido el plazo mencionado en el literal e), el Usuario No Doméstico no se apersona a suscribir el acuerdo, se archivará el trámite y se procederá a la suspensión temporal del servicio.

h) En caso que el Usuario No Doméstico, vencido el plazo establecido en el acuerdo, incumpla con dicho acuerdo, la EPS o la entidad que haga sus veces procederá a ejecutar la garantía financiera otorgada a su favor, y a suspender temporalmente el servicio de alcantarillado sanitario, hasta que adecúe sus descargas no domésticas, para lo cual seguirá el procedimiento establecido en el presente reglamento. Del mismo modo, la EPS o la entidad que haga sus veces, suspenderá el cobro del pago establecido en el literal g) del presente numeral.

20.5 Si en una nueva oportunidad el Usuario No Doméstico supera los VMA establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a la suspensión temporal del servicio de alcantarillado sanitario.

20.6 En caso de suspensión temporal del servicio, el Usuario No Doméstico deberá adecuar sus descargas para no exceder los VMA, procediendo, a través del laboratorio acreditado ante el INDECOPI, a efectuar la toma de muestra de acuerdo al procedimiento de reapertura que para el efecto establezcan las EPS o las entidades que hagan sus veces, y presentando los análisis respectivos, para su revisión y evaluación correspondiente.

20.7 Presentados los análisis, la EPS o la entidad que haga sus veces, procederá a revisar y evaluar los mismos en un plazo que no debe exceder de diez (10) días hábiles.

20.8 De verificarse que el Usuario No Doméstico, cumple con los VMA establecidos en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, la EPS o la entidad que haga sus veces procederá a realizar la reposición del servicio de alcantarillado sanitario. En caso no cumplan con dichos VMA, se mantendrá la suspensión temporal del referido servicio.

20.9 En todos los casos, el Usuario No Doméstico asumirá los costos generados por la suspensión temporal del servicio de alcantarillado sanitario, la toma de muestra y análisis y la reposición de dicho servicio.

**"Artículo 23.- Del procedimiento de la toma de muestra inopinada"**

23.1 El personal del laboratorio acreditado ante el INDECOPI, a solicitud de la EPS o la entidad que haga sus veces, se apersonarán conjuntamente para proceder a tomar la muestra inopinada en la caja de registro de la conexión de alcantarillado sanitario o en su defecto en un punto de muestreo antes de dicha red."

**"Artículo 24.- Del procedimiento"**

Los Usuarios No Domésticos podrán presentar reclamos ante la EPS o la entidad que haga sus veces.

Para el caso de las EPS, la SUNASS será la encargada de establecer los procedimientos, plazos e instancias correspondientes.

Para el caso de prestadores distintos a las EPS, el procedimiento de reclamos deberá estar sujeto a las disposiciones que para tal fin emita el regulador correspondiente a cada ámbito de prestación de los servicios de saneamiento".

**"DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES (...)"**

**Quinta.-** La metodología para el pago adicional por exceso de concentración establecida por la SUNASS es aplicable a las EPS. Los prestadores de servicios de saneamiento distintos a las EPS, podrán tomar como referencia la metodología establecida por la SUNASS".

**"ANEXO I  
"DECLARACIÓN JURADA DE USUARIO NO DOMÉSTICO"  
(ficha a ser llenada por el Usuario No Doméstico)**

Código de Usuario No Doméstico:   
(Llenado por el prestador de servicios)

**1. DATOS GENERALES:**

A. Razón Social:

B. Actividad:

C. Ubicación Oficina Administrativa:

D. Ubicación Planta:

E. Ubicación de Otra Instalación:

F. Representante Legal:

G. Nombre del Propietario y/o arrendatario del predio:

H. Fecha Inicio Operación:

I.

**2. ACTIVIDAD QUE REALIZA**

A. Indicar los meses de máxima y mínima producción:  Meses de Máxima Producción   
Meses de Mínima Producción

B. Materia(s) Prima(s) Empleada(s) Principal(es)

Materia Prima	Producto

**3. ABASTECIMIENTO DE AGUA: (Marcar un espacio que correspondió)**

A. Tipo de Fuente:

Red Pública Pozo de agua

Otro (especificar)

Observaciones

Consumo de agua durante los últimos 12 meses en M<sup>3</sup>

1	7

**4. DES CARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS**

A. Ubicación de los puntos de descarga de las aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario:

Ubicación	

Presentar un esquema general de la ubicación de estos descargas.

B. Descripción del sistema de tratamiento de las aguas residuales no domésticas (indicar capacidad, insumos, tipo de procesos, eficiencias)

C. Observaciones

544508

**NORMAS LEGALES**

El Peruano  
Sábado 10 de enero de 2015

- S. DOCUMENTOS PRESENTADOS (Marque con un aspa los documentos que adjunta)
- A. Copia simple de los resultados del laboratorio acreditado por el INDECOPI del Anexo N° 1 y Anexo N° 2, según corresponda, del D.S. N°021-2009-MVIEDA.
- B. Copia legalizada de la vigencia de poder de la representación legal.
- C. Ficha del Registro Único de Contribuyente-Acreditación del inicio de actividades.
- D. Esquema de los procesos unitarios y el diagrama de flujo del tipo de tratamiento de agua residual, de ser el caso.

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

\_\_\_\_\_  
Llenado por:

\_\_\_\_\_  
Firma y sello de Representante Legal

\_\_\_\_\_  
Lugar y Fecha:

**"ANEXO II  
"ACTA DE TOMA DE MUESTRA INOPINADA"  
(Ficha a ser llenada por el prestador del servicio)**

Código de Usuario No Doméstico. (Llenado por el prestador de servicio)

**1. DATOS GENERALES:**

A. Razón Social: \_\_\_\_\_

B. Actividad: \_\_\_\_\_

C. Ubicación Oficina Administrativa: \_\_\_\_\_

E. Ubicación Planta: \_\_\_\_\_

G. Otra Instalación: \_\_\_\_\_

I. Número de la CIU: \_\_\_\_\_

Distrito:	Provincia:	Departamento:
Distrito:	Provincia:	Departamento:
Distrito:	Provincia:	Departamento:

	Descripción:	
	Descripción:	
	Descripción:	
	Descripción:	

**2. CARACTERÍSTICAS DE LA TOMA DE MUESTRA INOPINADA**

Nombre del Laboratorio:	
Fecha:	
Hora:	
Responsable de la toma de muestra:	

ANEXO N° 1		
Parámetro	VMA	N° de muestras
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	500mg/lit	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000mg/lit	
Sólidos Suspendedos Totales	500mg/lit	
Aceites y Grasas	300mg/lit	

ANEXO N° 2		
Parámetro	VMA	N° de muestras
Aluminio	10mg/lit	
Arsénico	0.5 mg/lit	
Boro	4 mg/lit	
Cadmio	0.2 mg/lit	
Cianuro	1mg/lit	
Cobre	3mg/lit	
Cromo hexavalente	0.5 mg/lit	
Cromo total	10mg/lit	
Manganeso	4mg/lit	
Mercurio	0.02 mg/lit	
Níquel	4mg/lit	
Plomo	0.5 mg/lit	
Sulfatos	1000 mg/lit	
Sulfuros	5mg/lit	
Zinc	10mg/lit	
Nitrógeno Amomiacal	80 mg/lit	
pH	6-9	
Sólidos Sedimentables	8.5 ml/lit	
Temperatura	<35 °C	

Los parámetros establecidos en los Anexos N° 01 y N° 02 serán determinados a partir del análisis de muestras puntuales.

<small>El Peruano</small>	<b>NORMAS LEGALES</b>	<b>544509</b>
<small>Sábado 10 de enero de 2015</small>		
<b>Observaciones</b>		
<b>3. UBICACIÓN DEL(los) PUNTO(S) DE MUESTREO</b>		
<small>1</small>	<small>Ubicación</small>	
<small>2</small>		
<small>3</small>		
<b>Observaciones</b>		
<b>4. DOCUMENTOS QUE ACREDITEN LA TOMA DE MUESTRA INOPINADA</b>		
<small>a .</small>		
<small>b .</small>		
<small>c .</small>		
<small>d .</small>		
<small>Firma Representante laboratorio</small>	<small>Firma del Técnico/especialista del prestador de servicio de agua y saneamiento</small>	<small>Firma Usuario No Doméstico</small>

**Artículo 3.- Incorporaciones al Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario, aprobado por el Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA**

Incorpóranse los artículos 8-A y 8-B al Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario, aprobado por el Decreto Supremo N° 003-2011 VIVIENDA, con el texto siguiente:

**Artículo 8-A.- Suspensión Temporal del Servicio**

Las EPS o las entidades que hagan sus veces, suspenderán temporalmente el servicio de alcantarillado sanitario ante el incumplimiento de las obligaciones contenidas en los literales c), e), f) y j) del artículo 5, en el artículo 10, en los numerales 20.4 y 20.9 del artículo 20 y en el artículo 33 del presente Reglamento".

**Artículo 8-B.- Suspensión Definitiva del Servicio**

Las EPS o las entidades que hagan sus veces, se encuentran facultadas a suspender definitivamente el servicio de alcantarillado sanitario ante el incumplimiento de lo establecido en el literal e) del artículo 72 del TUO del Reglamento".

**Artículo 4.- Publicación**

Disponer la publicación del presente decreto supremo, en el Portal Electrónico del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ([www.vivienda.gob.pe](http://www.vivienda.gob.pe)), el mismo día de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

**Artículo 5.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL**

**Única.- De la Subcontratación de laboratorios acreditados**

La subcontratación de laboratorios acreditados es permitida, siempre que el laboratorio subcontratante se encuentre en proceso de acreditación ante el INDECOPi respecto del(los) parámetro(s) que pretenda subcontratar, y que este proceso no se encuentre interrumpido por causas imputables al laboratorio.

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS**

**Primera.- Del plazo del requerimiento para presentación de la Declaración Jurada**

Las EPS o las entidades que hagan sus veces, tendrán un plazo máximo de doce (12) meses,

contados desde el día siguiente de la publicación del presente decreto supremo en el Diario Oficial El Peruano, para requerir a los Usuarios No Domésticos la presentación de la Declaración Jurada de Usuario No Doméstico, a que se hace referencia en el artículo 17 del Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009 VIVIENDA aprobado con Decreto Supremo N° 003 2011-VIVIENDA.

**Segunda.- Del régimen temporal de excepción para laboratorios acreditados**

Autorízase excepcionalmente, por un plazo de doce (12) meses, contado desde el día siguiente de la publicación del presente decreto supremo en el Diario Oficial El Peruano, a los laboratorios acreditados ante el INDECOPi, que no cubran los veintitrés (23) parámetros exigidos por el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, para efectuar el análisis correspondiente de parámetros no acreditados, previa opinión favorable del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Para este efecto, los laboratorios interesados deberán presentar a la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento,

- o la que corresponda, la documentación que se detalla a continuación y que sustente la vigencia de la acreditación de al menos doce (12) de los veintitrés (23) parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA:

1. Certificado de acreditación, expedido por el Servicio Nacional de Acreditación del INDECOPi (INDECOPISNA);
2. Cédula de notificación mediante la cual INDECOPISNA otorga la acreditación o el mantenimiento de la acreditación del laboratorio;
3. Alcance de la acreditación actualizado, publicado en la página web del INDECOPi;
4. Copia legalizada de la vigencia de poder del representante legal; y,
5. Compromiso suscrito por el representante legal del laboratorio, para obtener la acreditación ante el INDECOPi de los parámetros faltantes del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, dentro del plazo establecido en la presente disposición complementaria transitoria.

Presentada la documentación antes indicada, la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento,

- o la que haga sus veces, tendrá un plazo máximo de cinco (05) días hábiles para evaluar y proceder a emitir su opinión favorable a través de un informe, el cual será comunicado al solicitante y publicado en la página web institucional.

Dentro de este plazo máximo, se podrá otorgar al solicitante un plazo no mayor de dos (02) días hábiles a fin de que subsane las observaciones que se efectúen; este plazo no será computado dentro del plazo máximo de cinco (05) días hábiles, entendiéndose que el plazo máximo queda suspendido hasta que se levanten las observaciones.

Transcurrido el plazo sin que el solicitante levante las observaciones efectuadas, se archivará el trámite.

De presentarse la solicitud cumpliendo los requisitos establecidos o en caso se subsanen las observaciones dentro del plazo, sin que la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, o la que haga sus veces, emita opinión favorable, se entenderá como aceptada la solicitud.

A efectos de verificar el cumplimiento de la presente disposición, los laboratorios acreditados ante el INDECOPI deberán precisar en los resultados de los análisis que realicen para los Usuarios No Domésticos, el número del informe de opinión favorable emitido por la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, o la que haga sus veces, o encontrarse en el listado de laboratorios aptos, publicado en la página web institucional.

### **Tercera.- Del régimen temporal de excepción para laboratorios no acreditados**

Autorícese, excepcionalmente, por un plazo de doce (12) meses, contado desde el día siguiente de la publicación del presente decreto supremo en el Diario Oficial El Peruano, la participación de laboratorios no acreditados ante el INDECOPI, ubicados fuera de las provincias de Lima y Callao para efectuar fuera de dichas provincias, el análisis correspondiente a los parámetros del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021 2009-VIVIENDA, previa opinión favorable del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Para este efecto, los laboratorios interesados deberán presentar a la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, o la que haga sus veces, la documentación y acreditación del cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. Ficha de Registro Único de Contribuyente-Acreditación del Inicio de Actividades, que demuestre estar ubicados fuera de las provincias de Lima y Callao;
2. Copia literal actualizada del Registro de Personas Jurídicas, donde conste estar formalmente constituidos;
3. Declaración jurada suscrita por el representante legal, comprometiéndose a brindar servicios a terceros;
4. Copia legalizada de la vigencia de poder del representante legal;
5. Compromiso suscrito por el representante legal del laboratorio, para obtener la acreditación ante el INDECOPI, de al menos los parámetros establecidos en el Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, dentro del plazo establecido en la presente disposición complementaria transitoria; y,
6. Presentar el informe favorable de visita de campo emitido por el evaluador o experto técnico registrado en el Padrón de evaluadores y expertos técnicos del INDECOPI (INDECOPI-SNA), que demuestre que el laboratorio cuenta con las condiciones y capacidad para realizar los ensayos de los parámetros del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, tomando como base lo establecido en la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025 y la Directriz para la acreditación de laboratorios de ensayo y calibración, SNA-acr-06D del INDECOPI, de tal forma que se pueda constatar que el laboratorio cuenta, como mínimo, con:

a. Instalaciones adecuadas para brindar los servicios de ensayo para los parámetros del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA; es decir, que las instalaciones permitan que las actividades del laboratorio se desarrollen de modo que no existan influencias adversas que alteren los resultados del ensayo;

b. Equipamiento que cuente con certificado de calibración vigente, (por ejemplo balanzas, matraces volumétricos calibrados, entre otros, según lo requieran los parámetros respectivos);

c. Personal autorizado por el laboratorio para el ensayo y el muestreo de los parámetros correspondientes. La autorización debe basarse en la formación profesional, considerando contar con una experiencia mínima de un (01) año; y,

d. Contar con recursos necesarios para realizar los ensayos de los parámetros del Anexo N° 1 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, según la normativa vigente del INDECOPI; es decir contar con reactivos, materiales de referencia y otros requeridos en los métodos de ensayo.

Presentada la documentación antes indicada, la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, o la que haga sus veces, tendrá un plazo máximo de cinco (05) días hábiles para evaluar y proceder a emitir su opinión favorable a través de un informe, el cual será comunicado al solicitante y publicado en la página web institucional.

Dentro de este plazo máximo, se podrá otorgar al solicitante un plazo no mayor de dos (02) días hábiles a fin de que subsane las observaciones que se efectúen; este plazo no será computado dentro del plazo máximo de cinco (05) días hábiles, entendiéndose que el plazo máximo queda suspendido hasta que se levanten las observaciones.

Transcurrido el plazo sin que el solicitante levante las observaciones efectuadas, se archivará el trámite.

De presentarse la solicitud cumpliendo los requisitos establecidos o en caso se subsanen las observaciones dentro del plazo, sin que la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, o la que haga sus veces, emita opinión favorable, se entenderá como aceptada la solicitud.

A efectos de verificar el cumplimiento de la presente disposición, los laboratorios deberán precisar en los resultados de los análisis que realicen para los Usuarios No Domésticos, el número del informe de opinión favorable emitido por la Dirección de Saneamiento de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, o la que haga sus veces, o encontrarse en el listado de laboratorios aptos, publicado en la página web institucional.

Las EPS o las entidades que hagan sus veces, que cuenten con laboratorios no acreditados ante el INDECOPI, y se acojan a la excepción antes mencionada, sólo podrán brindar el servicio a aquellos Usuarios No Domésticos que se encuentren fuera de su ámbito de responsabilidad.

### **Cuarta.- De la aplicación de la norma**

Los actos administrativos iniciados antes de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo se adecuarán a las disposiciones establecidas en este.

### **Quinta.- De la adecuación normativa**

En un plazo no mayor a sesenta (60) días calendario, contados desde el día siguiente de publicado el presente decreto supremo en el Diario Oficial El Peruano, la SUNASS deberá emitir las disposiciones legales correspondientes, a fin de adecuarlas a lo dispuesto en el presente Decreto Supremo.

### **DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA**

#### **Única.- Derogación**

Derógase el Capítulo II del Título V, denominado "Infracciones y Sanciones" del Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los nueve días del mes de enero del año dos mil quince.

OLLANTA HUMALA TASSO  
Presidente Constitucional de la República

MILTON VON HESSE LA SERNA  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

1186792-2



## Anexo F. Decreto supremo N° 004-2017- MINAM

10	NORMAS LEGALES	Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano
<p><b>Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias</b></p>	<p>publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;</p>	<p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p>
<p><b>DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM</b></p>	<p>DECRETA:</p>	<p><b>Artículo 1.- Objeto de la norma</b></p>
<p>EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA</p>	<p>La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.</p>	<p><b>Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</b></p>
<p>CONSIDERANDO:</p>	<p>Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.</p>	<p><b>Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</b></p>
<p>Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;</p>	<p>Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:</p>	<p><b>3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional</b></p>
<p>Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;</p>	<p><b>a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</b></p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:</p>
<p>Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;</p>	<p><b>- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</b></p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>
<p>Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;</p>	<p><b>- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</b></p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>
<p>Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p>	<p><b>- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</b></p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como predoración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.</p>
<p>Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p>	<p><b>b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación</b></p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:</p>
<p>Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;</p>	<p>Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;</p>	<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;</p>
<p>Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;</p>	<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,</p>	

**- B1. Contacto primario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

**- B2. Contacto secundario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

**3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales****a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

**b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

**c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

**d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

**3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales****a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

**- Agua para riego no restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

**- Agua para riego restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

**b) Subcategoría D2: Bebida de animales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

**3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

**a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lenticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

**b) Subcategoría E2: Ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

**- Ríos de la costa y sierra**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

**- Ríos de la selva**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

**c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos****- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

**- Marinos**

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precítese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

**Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua**

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

**Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio**

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

#### Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

#### Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

#### Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

#### Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

#### DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

##### Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

##### Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

##### Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

#### DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

##### Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

##### Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

##### Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA**

**Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN  
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES  
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN  
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRÁ  
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

**ANEXO**

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

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

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

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0.07	**	**
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.04	0.04	0.05
Uranio	mg/L	0.02	0.02	0.02
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>ORGÁNICOS</b>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>6</sub> - C <sub>14</sub> )	mg/L	0.01	0.2	1.0
Trihalometanos	(e)	1.0	1.0	1.0
Bromoformo	mg/L	0.1	**	**
Cloroformo	mg/L	0.3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0.1	**	**
Bromodiorometano	mg/L	0.06	**	**
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0.2	0.2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0.03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0.03	0.03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0.0006	0.0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0.04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0.004	0.004	**
Tricloroetano	mg/L	0.07	0.07	**
<b>BTEX</b>				
Benceno	mg/L	0.01	0.01	**
Etilbenceno	mg/L	0.3	0.3	**
Tolueno	mg/L	0.7	0.7	**
Xilenos	mg/L	0.5	0.5	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0.0007	0.0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0.009	0.009	**
<b>Organofosforados</b>				
Malatión	mg/L	0.19	0.0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0.00003	0.00003	**
Clordano	mg/L	0.0002	0.0002	**
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0.001	0.001	**
Endrín	mg/L	0.0006	0.0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0.00003	0.00003	**
Lindano	mg/L	0.002	0.002	**
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	mg/L	0.01	0.01	**
<b>III. CIANO TOXINAS</b>				
Microcistina-LR	mg/L	0.001	0.001	**
<b>III. BIFENILOS POLICLORADOS</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0.0005	0.0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Fomas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 <sup>4</sup>	<5x10 <sup>4</sup>

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO<sub>2</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 3,28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{CA\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{CA\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{CA\text{Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{CA\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

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

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

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 1:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Niquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Piombo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

**Nota 2:**

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> -) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>Bifenilos Policlorados</b>					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>-).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

**Área Restringida:** Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 3:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	23,1	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	15,3	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	10,2	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,084	0,043	0,021

**Nota:**

(\*)El estándar de calidad de Amoniaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniaco-N (NH<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniaco (NH<sub>3</sub>).

**Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Pomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	µg/L	35		35
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDE)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Hepcloro y Hepcloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
<b>Carbamato</b>				
Adicarb	µg/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMPY/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMPY/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 4:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.



Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1000	1000	1000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<u>Compuestos Orgánicos Volátiles</u>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<u>Hidrocarburos Aromáticos</u>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<u>Bifenilos Policlorados</u>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<u>Organofosforados</u>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,00013	0,00013	0,00013	**	**
<u>Organoclorados</u>						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000087	0,000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptácloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
  - (b) Después de la filtración simple.
  - (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3\text{-}$ ).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 5:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de  $\text{NH}_3$ ) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ ).

**Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de  $\text{NH}_3$ )**

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
<b>Salinidad 10 g/kg</b>								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 20 g/kg</b>								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 30 g/kg</b>								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

**Notas:**

- (\*) El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.
- (\*\*) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

**NOTA GENERAL:**

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2