



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA QUÍMICA



**RECUPERACIÓN DE PLOMO POR COAGULACIÓN -
FLOCULACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO SUCHES.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MICAELA SUCSO NOA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO-PERÚ

2020



DEDICATORIA

A Dios padre todo poderoso, por haberme guiado, brindado la salud y por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis queridos padres Luis y Marcelina, por su apoyo, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hija, son los mejores padres.

A mis hermanos por ser unos grandes amigos para mí, por sus apoyos, comprensión y cariño infinito.

Micaela



AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas que han contribuido al proceso y conclusión de este trabajo en primer lugar agradecer a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera y protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano en especial a la Facultad de Ingeniería Química a toda la plana docente por la formación académica y al personal administrativo por su atención.

A mi director de tesis M.Sc. Ciro Hernán Vera Alatrística por su apoyo en la realización de la presente tesis. Y a mis jurados Dr. Walter Alejandro Zamalloa Cuba, M.Sc. Marleni Yovanna Valencia Pacho y M.Sc. Jorge Aruhuanca Cartagena , que con sus respectivas evaluaciones y revisiones han contribuido al mejoramiento de este proyecto.

A la Ing. Yovana Paty Hilasaca Chura por sus consejos y brindarme su apoyo, confianza y su amistad durante todo este tiempo.

Gracias a todas las personas que ayudaron directamente e indirectamente en la realización de este proyecto.

Micaela



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2.1 Problema general.....	20
1.2.2 Problemas específicos	20
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.3.1 Justificación ambiental y social	21
1.3.2 Justificación científico	22
1.3.3 Justificación económica	23
1.4 HIPÓTESIS.....	24
1.4.1 Hipótesis específicas	24
1.5 OBJETIVOS.....	24
1.5.1 Objetivo general	24
1.5.2 Objetivos específicos	24

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO.....	25
2.1.1 Los metales pesados.....	25
2.1.2 Propiedades fisicoquímicas de los metales pesados.....	26
2.1.3 Metal plomo.....	27
2.1.4 Origen.....	27
2.1.5 Toxicología del plomo	28
2.1.6 Intoxicación por plomo y salud.....	29
2.1.7 Efectos sobre el medio ambiente.....	30



2.1.8	Contaminación por metales pesados	32
2.1.9	Métodos de tratamiento de efluentes industriales de metales pesados.	32
2.1.9.1	Precipitación química	32
2.1.9.2	Neutralización.....	32
2.1.9.3	Coagulación / floculación.....	33
2.1.9.4	Intercambio iónico.....	33
2.1.9.5	Procesos con membranas.....	33
2.1.9.6	Proceso de óxido-reducción	34
2.1.9.7	Adsorción	35
2.2	MARCO CONCEPTUAL.....	35
2.2.1	Coagulación-floculación.....	35
2.2.2	Coagulación	36
2.2.3	Mecanismo de coagulación	37
2.2.3.1	Compresión de la doble capa.....	38
2.2.3.2	Absorción y neutralización de cargas.....	38
2.2.3.3	Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado.....	39
2.2.3.4	Adsorción y puente.....	40
2.2.3.5	Factores que influyen en la coagulación	41
2.2.4	Fuentes contaminantes	43
2.2.5	Factores principales.....	44
2.2.5.1	Factores antropogénicos	44
2.2.5.2	Factores Naturales	45
2.2.6	Clarificación de agua	46
2.2.7	Características fisicoquímicas del agua	46
2.3	COAGULANTES UTILIZADOS	49
2.1.3.1	Factores que influyen en el proceso	50
2.1.3.2	Etapas del proceso de coagulación	51
2.1.3.3	Mezcla rápida	52
2.4	ESAYOS PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN.....	52
2.5	FLOCULACIÓN	53
2.5.1	Tipos de floculación.....	53
2.5.2	Factores que influyen en la floculación	54
2.5.3	Floculantes más usados. mecanismo de acción.....	54
2.5.4	Sulfato de aluminio	57



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	59
3.2 MATERIALES.....	59
3.2.1 Materia prima.....	59
3.2.2 Instrumentos de laboratorio	59
3.2.3 Materiales de laboratorio.....	59
3.2.4. Reactivos.....	60
3.3 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	60
3.3.1 Ámbito de estudio	60
3.3.2 Técnicas de muestreo	60
3.3.3 Caracterización inicial de las aguas residuales del rio Suches.....	61
3.3.4 Análisis químico de las aguas del rio Suches.....	61
3.3.5 Prueba de jarras	61
3.3.6 Descripción de operación del Aparato prueba de jarras.....	62
3.3.7 Diagrama de flujo.....	62
3.3.8 Para esta prueba se utilizaron lo siguiente	63
3.3.9 El procedimiento que se siguió es el siguiente.....	63
3.3.10 Definir el modelo matemático para la recuperación de plomo por el proceso de Coagulación-Floculación.	64
3.3.10.1 Desarrollo del modelo matemático por experimentación y estadística.	64
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	68
3.4.1 Ubicación	68
3.4.2 Límites.....	68
3.4.3 Geografía.....	68
3.4.4 Hidrografía	70
3.4.5 Demografía.....	70
3.4.6 Flora	70
3.4.7 Fauna	71

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 RESULTADOS.....	72
4.1.1 Definir la tecnología propuesta de coagulación- floculación dando a conocer los parámetros óptimos de velocidad de agitación, tiempo de retención y pH.	72



4.1.1.1 Tratamiento estadístico del diseño factorial	73
4.1.1.2 Analisis de varianza.....	74
4.1.1.3 Estimacion de efectos y modelo matemático	75
4.1.1.4 Optimización de respuesta.....	75
4.1.1.5 Diagrama de Pareto	76
4.1.2 Determinación del modelo matemático para la recuperación de plomo por el proceso de Coagulación-Floculación de las aguas del rio Suches.	78
4.1.2.1. Modelo matemático para la remoción de plomo en las aguas del rio Suches.....	78
4.2 DISCUSIÓN.....	79
V. CONCLUSIONES.....	81
VI. RECOMENDACIONES	82
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	89

Área : Tecnología ambiental.

Línea : Tecnología ambiental recursos naturales.

Fecha de Sustentación : 04 de diciembre del 2020.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de algunos reactivos coagulantes	42
Tabla 2. Características del agua	47
Tabla 3. Especificaciones sobre el sulfato de aluminio	57
Tabla 4. Concentración inicial de metal plomo en la cuenca del rio Suches.....	61
Tabla 5. Coagulación - Floculación	63
Tabla 6. Variables -datos del diseño experimental	65
Tabla 7. Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial	66
Tabla 8. Matriz de diseño factorial $2^3 = 8$ para el Pb,.....	67
Tabla 9. Resultados de porcentaje de remoción de Pb.....	72
Tabla 10. Efectos estimados para Y.....	74
Tabla 11. Análisis de Varianza para Y	74
Tabla 12. Coeficiente de regresión para Y.....	75
Tabla 13. Optimizar Respuesta.....	76



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Coagulación.....	37
Figura 2. Coagulación-fuerza de van der waals.....	38
Figura 3. Re estabilización de partículas	39
Figura 4. Atrapamiento de las partículas en un floc	40
Figura 5. Efecto de puente de las partículas en suspensión.....	40
Figura 6. Efecto de la temperatura y el sulfato de aluminio en la turbidez	43
Figura 7. Proceso de clarificación del agua	46
Figura 8. Equipo de Prueba de jarras	62
Figura 9. Mapa de Puno y Huancané.....	68
Figura 10. Mapa referencial.....	69
Figura 11. Variable respuesta Y	76
Figura 12. Interacción para el rendimiento.....	77
Figura 13. Contornos de superficie de la respuesta estimada.....	77



RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es la recuperación de plomo de las aguas de la cuenca del río Suches, ubicado en el distrito de Cojata, provincia de Huancané y departamento de Puno, mediante el proceso de coagulación - floculación, utilizando como coagulante el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y como floculante hidróxido de sodio. Los parámetros físico-químicos del agua, contienen plomo (0,1235 mg/L), que supera el valor máximo permisible por la Ley General del Ambiente, Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Las variables de operación que se modificaron en todas las diluciones fueron el pH de 3,5 a 11, la velocidad de agitación 15 a 150 rpm y el tiempo de mezcla 10 a 20 min., con objeto de establecer sus influencias en los procesos ensayados, los resultados fueron que se recuperó 0,009341 mg/L de Pb con un 92,4363 %. Y de establecer la influencia de la velocidad de agitación y la influencia que el pH ejerce en el proceso de coagulación-floculación en la recuperación de Pb, se efectuó el modelo matemático por experimentación y estadística, se obtuvo una velocidad de agitación óptima de 15 rpm, un tiempo de 20 minutos a un pH de 11. La validez del modelo de regresión matemático queda demostrada por la similitud de los valores hallados por el modelo matemático con las variables, volumen (V), tiempo (t) y pH. Por consiguiente, se concluye que la velocidad de agitación es la variable más significativa en el proceso de recuperación de plomo.

Palabras claves: Coagulación, floculación, Parámetro, Plomo, Pruebas de jarras.



ABSTRACT

The objective of this research is the recovery of lead from the waters of the Suches river basin, located in Cojata's district, Huancane's province and Puno's department through the coagulation-flocculation process, using sulfate as coagulant. Aluminium $Al_2(SO_4)_3$ and as a flocculant sodium hydroxide. The physical-chemical parameters of water contain lead (0,1235 mg/L), which exceeds the maximum permissible value by the General Environmental Law, Supreme Decree N° 004-2017-MINAM. The operating variables that were modified in all the dilutions were the pH from 3.5 to 11, the stirring speed from 15 to 150 rpm and the mixing time from 10 to 20 min., in order to establish their influences on the processes tested, the results were that 0.009341 mg/L of Pb was recovered with 92.4363%. And to establish the influence of the agitation speed and the influence that the pH exerts in the coagulation-flocculation process in the recovery of Pb, the mathematical model was carried out by experimentation and statistics, an optimal agitation speed of 15 rpm was obtained, a time of 20 minutes at a pH of 11. The validity of the mathematical regression model is demonstrated by the similarity of the values found by the mathematical model with the variables, volumen (V), time (t) and pH. Therefore, it is concluded that the stirring speed is the most significant variable in the lead recovery process.

Keywords: Coagulation, Flocculation, Jar tests, Lead, Parameter.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizó en la cuenca del Rio Suches que esta compartida entre Perú y Bolivia la cual desemboca en el lago Titicaca, la actividad principal de esta zona es la minera formal e informal y la ganadería. La cuenca del río Suches se encuentra parcialmente contaminada por plomo debido a la explotación aurífera desarrollados en la zona. Los habitantes de la zona también realizan explotación artesanal en la que vierten sus aguas de lavado en aguas superficiales de la cuenca (morales & Mallea, 2002). Deteriorando la calidad del agua por la actividad minera desarrollada en la cabecera, alteración de la dinámica fluvial, alteraciones en el régimen hidrológico, vertido de sustancias tóxicas como los metales pesados siendo uno de los metales el plomo. Ya que el plomo es un metal pesado muy peligroso para la salud, afectando el sistema nervioso central, órganos como el riñón e hígado y el sistema reproductivo. La presencia de plomo pone en riesgo la biodiversidad y la vida de personas que resultan intoxicados (OMS, 2010).

El proyecto de investigación se determino la capacidad de adsorción de plomo empleando, el sistema de coagulación – floculación, el proceso se evaluó en laboratorio utilizando prueba de jarras teniendo como variables pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación, es el método más utilizado para la determinación del coagulante óptimo y su dosis , se utilizó como coagulante sulfato de aluminio y como floculante hidróxido de sodio y los resultados químicos finales luego del tratamiento , se realizó por la técnica de instrumentación de absorción atómica. Sin embargo la prueba de jarras, diseño experimental y las variables de operación u parámetros aplicados a este trabajo



de investigación nos permite definir una nueva tecnología de remoción de metales pesados Pb de la cuenca del río Suches.

1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Castelar & Garcia, (2011). Los iones Pb^{2+} en disolución acuosa se removieron sobre carbón activado (CA) a $25 \pm 1^\circ C$ y aun pH de $4,0 \pm 0,1$. Los experimentos por lotes se realizaron para determinar el efecto de la concentración inicial (20 - 1000 mg/dm^3) y la cantidad de adsorbente (0,5-1,0g) sobre la capacidad de adsorción. Los datos de equilibrio se ajustan satisfactoriamente a la isoterma de Freundlich dando una capacidad máxima de adsorción de $37,5 \text{ mg/g}$ de CA, para una dosis de 5 g/dm^3 de los resultados se observa que el carbón activado mejora su capacidad de remoción cuando la concentración inicial aumenta y disminuye cuando la dosis de adsorbente se incrementa.

Cosme & Zevallos, (2017). Para influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo de una solución acuosa empleo como coagulante natural del Huaraco (*Opuntia floccosa*) y el Coagulante sintético Policloruro de Aluminio, las concentraciones de los coagulantes fueron de 10; 20; 30; 40 y 50 ppm respectivamente. Las condiciones de coagulación fueron establecidas con un tiempo de 5 min y 100 RPM, para la floculación fueron con un tiempo de 20 min y 50 RPM, una vez concluidos estos procesos se realizó la sedimentación por un tiempo de 30 min. De los resultados, el mejor tratamiento estadísticamente es el Tratamiento 7 (Policloruro de aluminio, 20 ppm), con una remoción de plomo de 88,36 %, seguido del Tratamiento 3 (*Opuntia floccosa*, 30 ppm), con una remoción de plomo de 73,41 %; llegando a la conclusión de que si existe influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo.



Monroy, (2019). Utilizó adsorbente arcilla chacko (hidralgiritita) para la remoción de plomo Pb (II) de soluciones acuosas; obteniendo el 83,33 %A de adsorción, con capacidad de equilibrio (q) de 0,050 mg.g⁻¹; utilizo 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, empleó 120 litros, obteniendo una remoción de plomo Pb (II) de 62,50 %A de adsorción, con capacidad de equilibrio (q) de 0,20 mg.g⁻¹; utilizo 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, 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⁻¹; utilizo 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 utilizó 8,4 g, de Ca(OH)₂ 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.

Cabrera (2018),En su trabajo de investigación obtuvo la remoción de plomo de una muestra sintética mediante el proceso de biosorción con tallo de rosas parámetros óptimos: pH 4, dosis de adsorbente 0.05 g de biomasa, concentración inicial del adsorbente de 10 mg/L de solución de plomo y un tiempo de agitación de 180 minutos, obteniendo como resultado 99.66%; 99.72%; 99.04%; 95.94% de biosorción respectivamente. Las variables que se analizaron para el proceso de biosorción indican que el efecto que tiene el pH en la adsorción es de suma importancia para alcanzar altos porcentajes de remoción.

Restrepo (2009), en su trabajo de investigación de evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable concluye que



para un tiempo de floculación de 30 min se observa la mayor remoción, En este tratamiento de Coagulación - Floculación se ha producido una reducción de aproximadamente un 55 % de los sólidos en suspensión en la muestra de agua, lo que muestra que ambos coagulantes resultan efectivos para disminuir este parámetro, además para este tiempo se presenta la menor dependencia de la turbiedad remanente respecto al gradiente. El Sulfato de Aluminio líquido Tipo B presenta un mayor porcentaje de remoción de 95.77%, seguido muy de cerca por el PAC con un 94.87% y por último el PASS con un 94.51%.

Orta, (2015). la capacidad de adsorción en un proceso de adsorción tipo batch, este material zeolítico con una relación Si/Al de 5.0 puede ser utilizado en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con iones de plomo hasta con una concentración de 100 ppm. El porcentaje de remoción de plomo con el mineral sin irradiar e irradiado a tres dosis de radiación (10,50 y 150 kGy) es capaz de remover el 97.5% del plomo. Existe una ligera diferencia entre los resultados de la capacidad de adsorción del mineral sin irradiar y el material irradiado, la energía de este tipo de radiación a las dosis estudiadas tienen un efecto casi nulo en este parámetro. La capacidad de adsorción del mineral irradiado a 150kGy es solo 3% mayor que la capacidad de adsorción del mineral sin irradiar. El máximo porcentaje de remoción de plomo del mineral sin radiación fue de 94.7%, mientras que con el material irradiado a 150kGy el porcentaje de remoción de plomo fue de 97.5%.

Apaza (2015), Aplicando el proceso de precipitación alcalina utilizando hidróxido de calcio e hidróxido de sodio, los resultados más relevantes obtenidos en esta investigación se dieron a partir de las variables de operación planteados para el diseño experimental de superficie de respuestas: pH (9,77) para $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y (8,92) para NaOH,



respecto a la velocidad de mezcla (40 rpm) para ambos hidróxidos y para la velocidad de agitación (20 minutos) para ambos hidróxidos, con estas variables se logró una eficiencia de remoción Pb (99,10%), Zn (99,50%) utilizando Ca(OH)_2 y Pb (98,55%), Zn (99,06%) con NaOH. De acuerdo al diseño experimental de superficie de respuestas usado y aplicado una solución matemática general para la localización de puntos óptimos simultáneos a mejor tratamiento a partir del modelo de segundo orden, obtiene para el Ca(OH)_2 para ambos metales simultáneamente: pH 9,77; velocidad de agitación 30 rpm y tiempo de agitación 19,2 minutos; por otra parte, para el NaOH los resultados dieron: pH 8,93; velocidad de mezcla 30 rpm y tiempo de agitación 19,18 minutos.

Cueva (2014), en su trabajo de investigación de diseño de experimentos en la remoción de metales pesados en aguas residuales de la industria minera por procesos de coagulación con sulfato ferroso, reporta que ocurre el punto con las mejores condiciones para el tratamiento de remoción de los iones metálicos Pb^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+3} en el efluente minero son: $D_o = 4 \text{ mL}$; $V_{ag} = 10 \text{ rpm}$; $T_{ag} = 6 \text{ minutos}$. Teniendo como respuesta el menor tiempo crítico de sedimentación, se logró encontrar un punto con las mejores condiciones para el tratamiento del agua de mina: $D_o = 4 \text{ mL}$; $V_{ag} = 10 \text{ rpm}$; $T_{ag} = 6 \text{ minutos}$. Por tanto el punto con las mejores condiciones que se halló para este diseño de experimento en el proceso de coagulación es con las siguientes condiciones: $D_o = 4 \text{ mL}$; $V_{ag} = 10 \text{ rpm}$; $T_{ag} = 6 \text{ minutos}$. Ya que favorecen a un proceso de remoción de metales óptimo, a un tiempo crítico.

Callata (2013), en su trabajo de investigación de Bioadsorción del ion Pb(II) en muestras del río suches (hito18), por biomasa muerta de pseudomonas aeruginosa, reporta que ocurre una mejor Bioadsorción a un pH 4 y 8 son los más influyentes en la Bioadsorción del Pb (II), con un 60,8% y 54,64% respectivamente. Así para el pH 3 tiene una remoción de 48,62%, para el pH 5 tiene una remoción de 53,04%, para el pH



6 tiene una remoción del 43,26%, para el pH 7 tiene una remoción 47,18%, y para el pH 9 tiene una remoción de 7,68%. Con los resultados mencionados se observa que el pH 9 es el menos eficiente. Los porcentajes de remoción nos ayudan a seleccionar el pH adecuado para la Bioadsorción del Pb (II).

Valencia J. et al. (2013), La remoción de iones Pb(II) a partir de una disolución acuosa sobre carbón activado granular se investigó a 27°C bajo condiciones dinámicas en un lecho empacado. En este trabajo se evaluó el efecto de la altura del lecho adsorbente (1-10 cm), el flujo volumétrico (1-5 cm³/min) y la concentración inicial (9,8 y 24,9 mg/dm³), sobre el tiempo de ruptura y la capacidad de adsorción, a un pH inicial de 4,0. Los resultados muestran que el rendimiento de la columna mejora cuando se incrementa la altura del lecho de carbón activado y disminuye el flujo volumétrico y la concentración inicial. Los datos experimentales de las curvas de ruptura se ajustaron a los modelos BDST (Bed Depth Service Time), Clark y Wolborska. El modelo BDST proporciona el mejor ajuste para describir el comportamiento dinámico en todas las condiciones de operación estudiadas. El modelo de Clark para relaciones de C/Co entre 0,05 y 0,5 y el modelo de Wolborska para C/Co < 0,2 describen de manera satisfactoria el rendimiento de la columna.

Laura (2018), en su trabajo de investigación de estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina. reporta que las pruebas aplicadas al agua superficial de Río Chili remueven la contaminación, al trabajar con pectina de naranja obtuvo un porcentaje de remoción de 43,13% de arsénico; 17,65% de cromo; con respecto a la pectina de limón logró remover 40,89% de arsénico; 11,76% de cromo y al trabajar con pectina de mandarina logró



remover 43,64% de arsénico; 71,95% de plomo. Al determinar la actividad floculante la pectina de mandarina es más eficiente con relación a la concentración de plomo logrando remover 71,95%; así también con respecto a la concentración de arsénico logró un mayor porcentaje de remoción de 43,64% en comparación con la pectina de naranja y limón que solo obtuvieron 43,13% y 40,89% respectivamente.

Meza, et al (2018), demostraron que el sulfato de aluminio removió 96 % la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo, mientras que el coagulante natural lo hizo en un 64 %. Al tratarse solo del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación). El coagulante químico utilizado, es mucho más efectivo que el coagulante natural empleado para reducir la turbidez del agua de la ciénaga.

PAL (1988), en su informe técnico N°3 que presenta el proyecto de apoyo al desarrollo de la crianza de alpacas en comunidades altoandinas (PAL) –COTESUC/IC, realizadas en las comunidades de Aurora , Piñuni y umabamba del distrito de Cojata ubicadas en zonas aledañas a la Cuenca del río Suches . Menciona que las comunidades se dedican mas al pastoreo de ganado sus constataciones en el campo evidenciaron que los pastores casi no invierten esfuerzos, insumos y capital para mejorar la condición de las pasturas naturales. Eran limitadas las acciones para eliminar las plantas invasoras como el Waraño que se multiplican perjudicando la recuperación de los buenos pastos. Además menciona que no se observa contaminación en ningún río cercano a las comunidades .Y que las fuentes de aguas son aprovechadas de dos maneras: 1: para el consumo humano las estancias y astanas son ubicadas frente a las fuentes permanentes de agua, como esto no siempre es posible los pastores construyen canales hasta de dos a tres kilómetros de distancia para proveerse de este vital elemento, 2: En zonas donde hay acceso o se encuentran cerca al río durante el año los pastores contruyen canales para irrigar pastos naturales en la época secas. Se ha observado que muchas



comunidades tiene acceso a corrientes de agua potenciales y poseen tierras apropiadas para formas bofedales .

Everett (1971) , En el rio Suches, que tambien es un afluente del Lago Titicaca, se realizaba la pesca con trampas de piedra, siendo muy eficientes y no selectivos, razon por la cual se prohibio su practica en la region. Bolivia prohibió la pesca con dinamita, pero esto no fue de gran ayuda porque se capturaba un mayor volumen de truchas en Perú que en Bolivia, debido a la localización geográfica de los ríos de desove y al emplazamiento de las fábricas de conserva. Aunque la trucha no llegó a desaparecer completamente del lago, llegó a ser demasiado escasa como para sustentar la actividad de las fábricas de conserva,. En los años sesenta se recolectaban 600 t anuales de trucha, pero debido a la sobrepesca causada por la utilización de embarcaciones y redes perfeccionados el volumen de capturas descendió a unas 250 t anuales. la última de las cuales cesó en sus actividades en 1969.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Cuenca del rio Suches es un afluente importante del lago Titicaca, Si bien la cuenca está expuesta a impactos ambientales negativos debidos a la mala disposición de aguas residuales domésticas y residuos sólidos domiciliarios, los mayores impactos tienen como origen la actividad minera en la cabecera de la cuenca, posteriormente contaminan los cursos de agua. También esta actividad ha modificado el paisaje, cambiando cursos de río e incremento la turbidez de las aguas; perdida de la cobertura vegetal. (morales & Mallea, 2002) .Alrededor de la cuenca existe gran cantidad de minería formal e informal. Según el informe de la Dirección Regional de Energía y Minas Puno (DREM-P), existe un total 33 “shutes” de los cuales 25 se encuentran en estado operativo 2 en construcción y 6 no operativo, siendo estos últimos los que vienen contaminando con metales pesados



en toda la cuenca, el contenido de Pb es de 0,1235 mg/L el cual excede los Límites Máximos Permisibles, la presencia de plomo en las aguas del río Suches pone en riesgo la biodiversidad y la vida de personas que resultan intoxicada por plomo ya que es un metal pesado muy peligroso para la salud, afectando el sistema nervioso central, órganos como el riñón e hígado y el sistema reproductivo, por lo que es necesario recuperar este metal pesado.

La cuenca al ser contaminado con este metal, representa una gran amenaza para la flora, fauna y al ser humano, quien consume los peces y productos de la ganadería. Asimismo, el plomo Presenta una amenaza al medio ambiente por ser un metal pesado y por ser un mineral no biodegradable es necesario tener la tecnología adecuada y de bajo costo económico, y sobre todo que el deterioro del medio ambiente sea mínimo, ya que otros métodos resultan perjudiciales al medio ambiente, así como el costo es elevado, por tal motivo se plantea una tecnología limpia y barata.

En el presente trabajo se pretende recuperar el plomo en la cuenca del río Suches por coagulación –floculación

1.2.1 Problema general

¿En qué medida se recupera el plomo en la cuenca del río Suches por coagulación -floculación?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Se podrá definir la tecnología propuesta de coagulación- floculación propuesta, dando a conocer los parámetros óptimos de velocidad de agitación, tiempo de retención y pH?.
- ¿Se podrá definir el modelo matemático del proceso para la recuperación de plomo?.



1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación ambiental y social

Todos sabemos que a nivel mundial la contaminación ambiental es uno de los mayores problemas. A esto se suman, los contaminantes generados por las diferentes actividades antrópicas que están deteriorando la calidad de las masas de agua superficial y subterránea, limitando así su disponibilidad y calidad.

Los Presidentes de la República del Perú, Martín Vizcarra Cornejo, y del Estado Plurinacional de Bolivia, Evo Morales Ayma, reunidos en la ciudad de Ilo, el 25 de junio de 2019, en ocasión del V Gabinete Ministerial Binacional Perú-Bolivia: firmaron la Declaración de Ilo. En el cual condenaron enérgicamente la minería ilegal por el impacto negativo a nivel social, ambiental y de salud que genera en las poblaciones de ambos países, acordando realizar acciones conjuntas urgentes para combatirla en las cuencas de los ríos Suches y Madre de Dios, mediante la elaboración de Planes Binacionales de Gestión.

Según el reporte de conflictos N° 72 de la Defensoría del Pueblo, hasta el 28 de febrero de 2010, se registraron 252 conflictos sociales en el Perú, de los cuales, 121 están relacionados a temas socio ambientales. Uno de ellos es el problema de la contaminación minera en el río Suches. En su reporte 96, menciona que las actividades de minería informal en el río Suches contaminan la cuenca y que los pobladores aledaños a la cuenca son víctimas de la contaminación.

En la cuenca binacional Suches, compartida por Bolivia y Perú, existe una gran preocupación de los gobiernos y los pobladores de la zona por la contaminación de las aguas superficiales por la presencia de actividad minera ilícita, que pone en peligro a la agricultura, ganadería y salud pública, generando impactos ambientales negativos por el



vertido de aguas con residuos solidos, así como residuos generados por la actividad minera en la cabecera de la cuenca del río Suches. El rio suches es muy importante ya que es uno de los afluentes del lago Titicaca.

En el año 2007 la Dirección de Salud Ambiental Puno (DIGESA), señala que en las muestras de los estudios realizados en las aguas del río Suches ese ha encontrado plomo especialmente en el Hito 18, ubicado en el distrito de Cojata. El que excede en un 30% al valor del límite permisible por la ley general de las aguas. Por lo que es muy importante remediar las áreas afectadas por la Presencia de metales pesados.

En el mes de junio del 2011, el Gobierno peruano emitió el Decreto de Urgencia Nro. 0282011, que declaró de interés nacional y de ejecución prioritaria la recuperación ambiental de las cuencas del río Ramis y del Suches

Los sectores más afectados en el departamento de Puno por el cauce de este río suches es el distrito de Cojata Provincia de Huancané. Debido a que sus habitantes utilizan las aguas del rio para el riego de pastizales y abastecimiento de bofedales, además se han generado la mortalidad de ganado asimismo constituye un riesgo para la salud de los pobladores asentados en los márgenes del río.

1.3.2 Justificación científico

El proceso de coagulación-floculación consiste en que las partículas coloidales presentes en el agua se aglomeren formando pequeños gránulos con un peso específico superior al del agua llamados flocs. La carga eléctrica de la superficie de las partículas coloidales es el factor que contribuye, en la mayor medida, a su estabilidad a largo plazo, ya que las partículas que tendrán tendencia a formar aglomerados son repelidas mutuamente por sus cargas eléctricas. En la coagulación ocurre la desestabilización de estas partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas,



mientras que en el proceso de floculación ocurre el transporte de ellas dentro del líquido para que las partículas ya desestabilizadas choquen unas con otras para formar coágulos mayores; de esta forma las partículas sedimentan y ocurre la remoción de los materiales en suspensión, lo que permite que el agua mejore su calidad (Valencia, 2000).

Para este trabajo de tesis se desarrollara por el proceso de coagulación – floculación en la coagulación en la mezcla rápida generara fuerte turbulencia, de modo que haya dispersión rápida y homogénea de los coagulantes en el tiempo requerido utilizaremos como coagulante sulfato de aluminio y en la floculación se debe garantizar que el tiempo de floculación sea suficiente para que los flóculos alcancen el tamaño apropiado, verificar que la dosis de insumos y sustancias de coagulación y floculación sean adecuados de tal forma que se genere un flóculo estable y de adecuado tamaño. Se debe verificar la eficiencia de remoción de turbiedad y la formación de un flóculo estable. Para así obtener los resultados deseados con los datos obtenidos nos permiten hallar la base fundamental del proceso de coagulación – floculación lo cual es para ser aplicados en la recuperación de metales pesados en soluciones acuosas a diferentes condiciones ambientales.

1.3.3 Justificación económica

Se cuenta con opciones para remover metales pesados de las aguas contaminadas, como: oxidación-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico y tecnologías de membrana, que de alguna manera tienen tecnologías con características propias y de importancia. Sin embargo dichos procesos resultan por lo general muy costosos. Por eso, algunos métodos alternativos comienzan a ser estudiados, como la coagulación.- floculación (precipitación alcalina) de metales, la cual se basa en la



capacidad de formar determinados lodos y luego fácilmente ser eliminados y es menos costosa. (Brown, Lemay, Bursten, & Murphy, 2009).

Una alternativa económica y efectiva es el método por coagulación- floculación por ser barata y eficiente, utilizando floculante y coagulante ya con ellas nos permite obtener datos relevantes en el proceso de remoción del plomo metal pesado presentes en soluciones acuosas en diferentes escalas de pH.

1.4 HIPÓTESIS.

Conociendo el método de coagulación-floculación se recupera plomo en la cuenca del río suches.

1.4.1 Hipótesis específicas

- Conociendo los parámetros óptimos de velocidad de agitación tiempo de retención, pH, se define la tecnología propuesta para el proceso de coagulación- floculación.
- En el proceso de coagulación-floculación de la cuenca de río suches es posible determinar su modelo matemático.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Recuperar plomo por el método de coagulación – floculación en la cuenca del río suches

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir la tecnología propuesta de coagulación- floculación dando a conocer los parámetros óptimos de velocidad de agitación, tiempo de retención y pH.
- Determinar el modelo matemático para el proceso de Coagulación-Floculación.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Los metales pesados

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que presentan un peso específico superior a 4 (g cm⁻³). Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero.

Los poseen una conductividad eléctrica alta, son dúctiles, la mayoría son elementos de transición con capacidad para formar compuestos que pueden o no sufrir actividad redox. De los 902 elementos que se encuentran naturalmente 21 son no metales, 16 son metales ligeros y los tres restantes, incluyendo el As, son metales pesados. Se incluyen el Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Co, Hg, Ni, Al y Se (Weast, 1984). Los metales pesados se pueden clasificar en esenciales (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, V), los cuales cumplen alguna función biológica a concentraciones traza y en no esenciales (Cr, Cd, Hg, Pb, As, Sb), cuando no cumplen ninguna función biológica conocida. Los iones metálicos son parte de la geósfera, por lo tanto se encuentran presentes de forma natural en la corteza terrestre (yacimientos) y son extraídos por el hombre para su fundición y posterior uso industrial. Las principales causas de acumulación natural en los ecosistemas son: la erosión, la actividad volcánica y los incendios forestales, que de la misma manera cumplen ciclos de acumulación y remediación, sin presentarse un efecto tóxico y/o nocivo para los ecosistemas (Mejía, 2006).



El proceso de transformación de los metales pesados abarca desde su extracción en los yacimientos, hasta la fundición y el refinado de éstos, para obtener los metales de interés y convertirlos en bienes de consumo, que una vez utilizados son desechados. En cada una de estas etapas se liberan metales al ambiente; así, la minería expone las rocas metálicas a meteorización acelerada, lixiviación y escorrentía; la fundición y el refinado, liberan importantes cantidades de productos secundarios. Las descargas de las industrias de aplicación, transformación, residuos sólidos urbanos y lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, contienen una importante carga de diferentes iones metálicos. El aporte atmosférico se da principalmente por la combustión de materias primas energéticas fósiles como carbón, gasolina, etc. (Mejía, 2006).

2.1.2 Propiedades fisicoquímicas de los metales pesados

Las propiedades fisicoquímicas más resaltantes de los metales pesados son:

- Peso específico
- Calor específico
- Dilatación térmica
- Temperatura de fusión y solidificación
- Conductividad térmica y eléctrica
- Resistencia al ataque químico
- Dureza
- Molécula monoatómica
- Brillo característico llamado metálico
- Muy poco reactivo con el hidrogeno
- Se combina con el oxígeno para formar los óxidos
- Son dúctiles o deformables
- Son sólidos a temperatura normal excepto el mercurio que es liquido



2.1.3 Metal plomo

El plomo es un metal pesado de alta densidad 11,4 g/cm³ a 16 °C, de color azulado, que al empañarse adquiere un color gris mate. En estado puro es blando y maleable, poco dúctil y mal conductor de la electricidad. Como muchos metales, en ambientes húmedos se recubre de una capa de óxido. Sus características más relevantes son: número atómico 82, peso atómico 207,19, su punto de fusión 327,4 °C, y el punto de ebullición 1 740 °C. Tiene 4 isótopos naturales, de pesos atómicos 208, 206, 207, 204. Es relativamente resistente al ataque de ácidos sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. Posee 4 electrones en su órbita de valencia, de los que sólo 2 se ionizan con facilidad, por lo que el estado de oxidación de este metal en sus compuestos inorgánicos es en general de +2 .

El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tienen la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos órganos metálicos (Villanueva, 1993).

2.1.4 Origen

La presencia de metales pesados en el suelo, al igual que en aguas subterráneas y superficiales, puede ser resultada de procesos naturales y de actividades antropogénicas, siendo esta última la principal responsable tanto de forma directa como indirecta del incremento de los niveles de metales pesados en el ambiente.

Por su parte, la actividad antropogénica es responsable del incremento de estos elementos en aguas superficiales (por medio de la descarga de residuos líquidos), en el aire (por medio de procesos de combustión) y en el suelo (a través de actividades



agropecuarias). Ambientalmente se encuentra en las siguientes formas: A. Derivados inorgánicos (Procesos naturales).

El plomo se presenta con diferentes composiciones como óxidos minerales de: Cerusita: $PbCO_3$, Anglesita: $PbSO_4$, Hidrocerusita: $2 PbCO_3.Pb(OH)_2$, Minio: $2PbO.PbO_2$, Minto: Pb_3O_4 , Plumbojarosita: $PbFe_6(OH)_{12}(SO_4)_4$. (Agouborde, 2008).

Además, otros metales acompañan al óxido de plomo, como los sulfuros de: Galena: PbS , Jamesonita: $2PbS.Sb_2S_3$, Geocronita: $5PbS.Sb_2S_3$. Siendo los de mayor interés la cerusita, anglesita, galena y jamesonita. Los minerales oxidados de plomo económicamente importantes son: cerusita y anglesita (Azañero, y otros, 2002).

Son derivados orgánicos el acetato de plomo; abortivo, el tetraetilo de plomo; antidetonante, el estearato de plomo; que da consistencia al plástico y el naftenato de plomo; componente de los aceites y grasas de uso industrial (Villanueva, 1993).

2.1.5 Toxicología del plomo

El plomo no tiene ninguna función biológica dentro de los microorganismos. Y una de las características de este metal es que es tóxico para las células vivas.

a. Toxico cinética

❖ Absorción

Las vías de entrada del plomo inorgánico en el organismo son fundamentalmente la respiratoria y la digestiva. Por la vía respiratoria se absorbe entre el 30 y el 50% del plomo inhalado. Por la vía digestiva se absorbe el 10% (50% en los niños) (W. Richardson, 1995).



❖ **Distribución y vida media**

El plomo absorbido es vehiculizado por la sangre y alrededor del 90% se fija en los glóbulos rojos. El plomo en el organismo sigue un modelo tricompartmental (W. Richardson, 1995):

- a. El sanguíneo (el 2 % del contenido total, con una vida media de unas 5 semanas).
- b. El de los tejidos blandos (el 8%, con una vida media de unas 6-8 semanas).
- c. El óseo (representa el 90% del contenido total y con una vida media que oscila entre los 10 y 28 años).

b. Mecanismo de toxicidad

El plomo tiene gran afinidad por grupos imidazol, sulfhídrico, amino, carboxilo y fosfato. Presenta una fuerte unión a las membranas biológicas. Presenta una fuerte unión a las proteínas y numerosas vías metabólicas como la fosforilación oxidativa y la síntesis de la hemoglobina. La inhibición de la pirimidin 5' – nucleotidasa. Depósitos de ácidos nucleicos en los hematíes ocasionando el punteado basófilo. El plomo es desmielinizante y puede ocasionar degeneración axonal.

Tras la absorción y debido a su valencia 2 es asimilado como el calcio en los huesos y se elimina con dificultad. Es especialmente significativa su eliminación en la etapa de lactancia pasando este de los huesos a la leche materna. Se elimina de forma natural de los huesos en su regeneración liberándose en especial ante el padecimiento de osteoporosis (W. Richardson, 1995).

2.1.6 Intoxicación por plomo y salud

(OMS, 2019)



El plomo es una sustancia tóxica que se va acumulando en el organismo afectando a diversos sistemas del organismo, con efectos especialmente dañinos en los niños de corta edad.

- El plomo se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos y se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo. Para evaluar el grado de exposición humana, se suele medir la concentración de plomo en sangre.
- El plomo presente en los huesos es liberado hacia la sangre durante el embarazo y se convierte en una fuente de exposición para el feto.
- No existe un nivel de exposición al plomo por debajo del cual se puede afirmar que no se sufrirán efectos perjudiciales.
- La exposición al plomo es prevenible.

El Instituto de Sanimetría y Evaluación Sanitaria ha estimado que, según datos de 2017, la exposición al plomo causó 1,06 millones de defunciones y la pérdida de 24,4 millones de años de vida ajustados en función de la discapacidad debido a sus efectos en la salud a largo plazo. La mayor carga corresponde a los países de ingresos bajos y medianos. Además, el Instituto estimó que, en 2016, la exposición al plomo ocasionó el 63,2% de los casos idiopáticos de insuficiencia del desarrollo intelectual, así como el 10,3%, el 5,6% y el 6,2% de la carga mundial de cardiopatía hipertensiva, cardiopatía isquémica y accidentes cerebrovasculares, respectivamente.

2.1.7 Efectos sobre el medio ambiente

Cuando el plomo se libera al ambiente tiene un largo tiempo de residencia en comparación con la mayoría de los contaminantes. Como resultado tiende a acumularse



en tierra y sedimentos. Ahí debido a su baja solubilidad, puede permanecer accesible a la cadena alimentaria y al metabolismo humano por mucho tiempo. En estudios recientes sobre el uso de las aguas residuales han indicado que el 85 % de los oligoelementos (cadmio, cromo, plomo y zinc etc.). Aplicados se acumulan en el suelo y que la mayoría de ellos se acumulan en los primeros centímetros. Además la absorción de estos elementos por las plantas es tan pequeña, que no se puede esperar que reduzca apreciablemente su acumulación en los suelos, en un tiempo razonable. (FAO, 2010).

La contaminación antropogénica de plomo es mucho más significativa 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 queman el plomo, generando sales de plomo (cloruros, bromuros, óxidos) que entran en el ambiente a través de los tubos de escape. Las partículas grandes precipitan en el suelo o en la superficie de aguas y las pequeñas viajan largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. El plomo puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen plomo. (Eaton, 1994).

La contaminación por plomo afecta por al fitoplancton, que es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos animales marinos grandes lo comen. 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 alimenticias, modifica substancialmente la reproducción de invertebrados marinos y cambios neurológicos y de la sangre en los peces. Todos estos factores llevan al impacto en el equilibrio del ecosistema en el largo plazo por la presencia contaminante del plomo. (Higueras & Oyarzun, 2007).



2.1.8 Contaminación por metales pesados

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, debido a los diferentes procesos productivos del hombre (fuentes antropogénicas) y actividades de la vida diaria, causando efectos adversos en el hombre, animales y vegetales; problemática a la que el Perú no es ajeno (San martin, 2015).

2.1.9 Métodos de tratamiento de efluentes industriales de metales pesados.

(Tennor, 2010)

2.1.9.1 Precipitación química

Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble facilitando así su eliminación. Suele aplicarse en la eliminación de metales pesados y algunos aniones como fosfatos, sulfatos o fluoruros. Los agentes químicos de precipitación típicos son: Cal, Dolomita, Hidróxido sódico, Carbonato sódico. Las sales para el hierro más utilizadas son sulfatos y cloruros, (puede resultar conveniente añadir también cal o sosa debido al carácter ácido de estas sales).

2.1.9.2 Neutralización

La neutralización de aguas residuales ácidas o básicas es un tratamiento común en algunas corrientes residuales industriales. La neutralización se utiliza habitualmente en los siguientes casos:

- Antes de la descarga en un medio receptor natural.



- Antes de la descarga al alcantarillado .
- Antes de un tratamiento biológico .

2.1.9.3 Coagulación / floculación

La adición de coagulantes/floculantes consiste en que pequeñas partículas se unan formando agregados de mayor tamaño, mejorando la eficacia de eliminación en procesos como la sedimentación, flotación o filtración.

Coagulación:

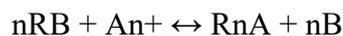
- Los coagulantes más comunes son sales inorgánicas: FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$

Floculación:

- Los floculantes más comunes son polímeros de elevado peso molecular solubles en agua.

2.1.9.4 Intercambio iónico

El intercambio iónico consiste en intercambiar componentes iónicos no deseados del agua residual por iones (cationes o aniones) más aceptables:



Los iones eliminados se retienen en una resina de (naturales o sintéticas), para ser liberados más tarde en un líquido de regeneración. La concentración de SS debe de ser baja (ensuciamiento).

2.1.9.5 Procesos con membranas

Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Son tratamientos de elevado coste, pero cada vez más competitivos, utilizándose incluso en tratamiento de aguas residuales.



Existen dos formas de operar: filtración en línea o tangencia. El ensuciamiento de la membrana se corrige cambiando la dirección de flujo (ensuciamiento superficial) y con productos químicos.

- Microfiltración (MF): sólidos suspendidos y bacterias.
- Ultrafiltración (UF): coloides y macromoléculas.
- Nanofiltración (NF): Tratamiento de aguas de consumo.
- Ósmosis inversa (OI): Se usa sobre todo en la desalinización de agua del mar y la producción de agua ultra pura.
- Electrodialisis (ED): Eliminación de metales pesados de las aguas de procesos de galvanoplastia.

2.1.9.6 Proceso de óxido-reducción

Los procesos de oxidación-reducción consisten en la adición de un compuesto que actúa como agente oxidante o reductor, produciéndose una transformación como consecuencia de la transferencia electrónica entre el compuesto añadido y los compuestos presentes en el agua residual. Consiste en transformar un compuesto que se encuentra en una forma de elevada toxicidad a una forma menos peligrosa o que puede eliminarse más fácilmente.

Uno de los procesos que más se emplean en el tratamiento de efluentes con metales pesados es la reducción del cromo hexavalente, Cr (VI), a cromo trivalente, Cr (III), como paso previo a su precipitación. Son reacciones fuertemente dependientes del pH, de manera que el intervalo de trabajo depende del reactivo utilizado.

La oxido- reducción en general, tiene las siguientes ventajas y desventajas:



- Ventajas: Relativamente simple, bajos costos, oxida otras sustancias inorgánicas y constituyentes orgánicos, mata microbios, proceso rápido, mínimos residuos.
- Desventajas: Principalmente remueve As (V), eficiente control de pH y del proceso de oxidación, necesita procesos complementarios (Mohan & Pittman, 2007)

2.1.9.7 Adsorción

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Se puede utilizar para eliminar compuestos orgánicos refractarios y algunos inorgánicos (sulfuros, nitrógeno, metales pesados).

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo. También se pueden utilizar polímeros sintéticos y adsorbentes de base silíceo, pero son poco utilizados en aguas por su alto costo. Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo: Carbón activado granular (GAC): $>0,1$ mm y Carbón activado en polvo (PAC): $<0,07$ mm.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Coagulación-floculación

Se llama Coagulación-Floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos. Dicho proceso se usa para lograr la:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos, entre otros.



- Eliminación de bacterias virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados.
- Destrucción de algas y plancton en general. (Jan, 1990)

2.2.2 Coagulación

Proceso unitario para la disminución de metales es el de coagulación, el cual consta del ingreso de un químico denominado coagulante en una determinada dosis. 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.

La coagulación es el proceso mediante el cual un sistema dado puede transformarse de un estado estable a uno inestable. En otras palabras es la desestabilización del sistema (al desestabilizar el sistema se refiere a cambiar cargas eléctricas de las partículas suspendidas, de negativas a positivas y viceversa).

(Cárdenas, 2000), agrega que la coagulación es la desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos.

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.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

En esta figura se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. (Restrepo O. , 2009).

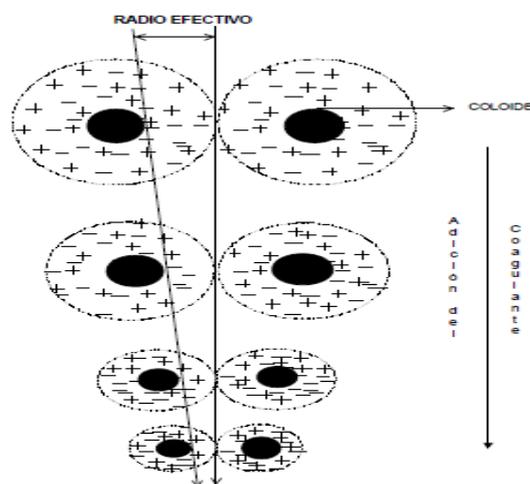


Figura 1. Coagulación

Fuente: (Pinmated, 2007)

2.2.3 Mecanismo de coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente. (Cárdenas, 2000)

2.2.3.1 Compresión de la doble capa

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión esta en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue solo con los iones del coagulante. (Ver Fig. 2). Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción, entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los atomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos ultimos.

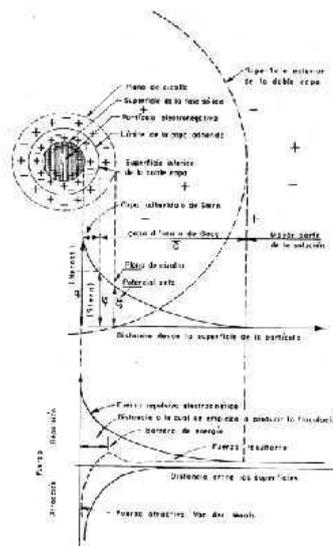


Figura 2. Coagulación-fuerza de van der waals

Fuente: (Cárdenas, 2000)

2.2.3.2 Absorción y neutralización de cargas

Las partículas coloidales poseen carga negativa en sus superficies, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide. El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electro cinético – potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua. Después de la teoría de la doble capa

la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica. Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la re estabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original.

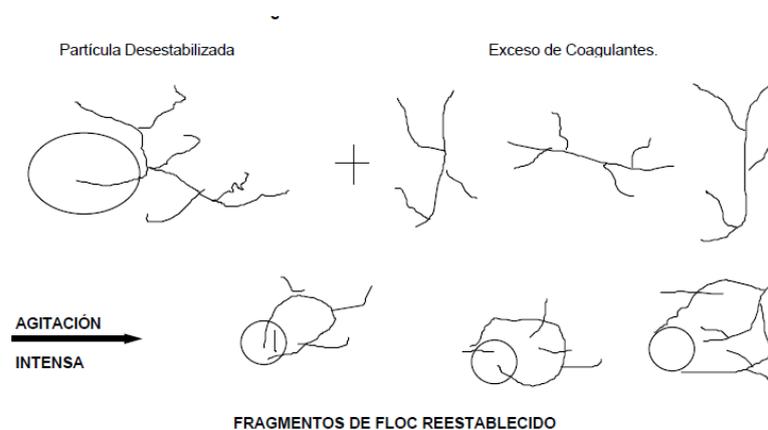


Figura 3. Re estabilización de partículas

Fuente: (Cárdenas, 2000)

2.2.3.3 Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Ferrico $FeCl_3$, el floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$. La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras

palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante.

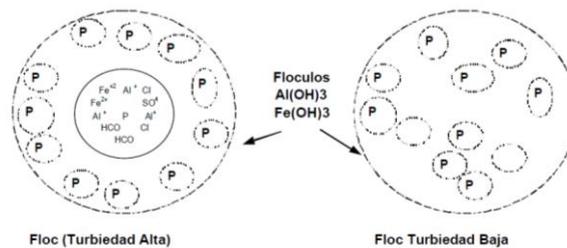


Figura 4. Atrapamiento de las partículas en un floc

Fuente: (Cárdenas, 2000)

2.2.3.4 Adsorción y puente

En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero anionico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una estabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.

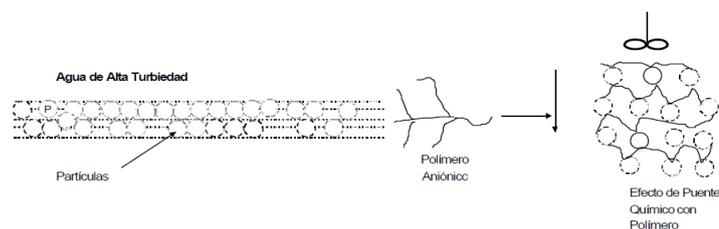


Figura 5. Efecto de puente de las partículas en suspensión

Fuente: (Cárdenas, 2000)



2.2.3.5 Factores que influyen en la coagulación

- **Estado de Valencia:** Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.
- **Capacidad de cambio:** Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
- **Tamaño de las partículas:** Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc. (Murillo, 2011)
- **Concentración de iones W o pH:** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
- **Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.
- **Alcalinidad:** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación. (Rodríguez, 1995)
- **pH óptimo de coagulación:** El valor del pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación, el pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para formación de floc y la carga sobre las partículas coloidales. El pH óptimo para

la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero usualmente cae entre pH 5,0 a 6,5.

Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio y generar problemas al usuario del agua. Cuanto menos sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del floculo a cambios de pH. (Romero J. , 2002)

- **Influencia del pH del Agua** :El rango de pH está en función del tipo de coagulante 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 (Cárdenas, 2000)

Tabla 1.

Características de algunos reactivos coagulantes

Coagulante	Dosis (mg/L)	pH óptimo	Aplicaciones
Cal	150-500	9-11	Eliminación de coloides (1)
$Al_2(SO_4)_3$	75-250	4.5-7	Eliminación de coloides (1)
$FeCl_3$	35-150	4-7	Eliminación de coloides (2)
$FeCl_2$	70-200	4-7	
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$			
Polímero catiónico	2-5		Eliminación de coloides (3)
Polímero aniónico y no iónico		0.25-1.0	Ayudante de floculación y sedimentación

Fuente: Restrepo, 2009

(1) Eliminación de coloides y de fosforo. Agua de baja alcalinidad y alta concentración de fosforo

(2) Eliminación de coloides y de fosforo. Agua de baja alcalinidad y alta concentración de fosforo

(3) Eliminación de coloides. Ayudante con coloides metálicos

•**Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre mas fria el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.

(Cárdenas, 2000) menciona que la variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (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; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Al parecer no existe un rango específico de temperatura óptima. Sin embargo (Fernández, García, García, & Dorado) menciona que trabajan mejor en el rango de 3.5 – 25 C. Un ejemplo claro es el mostrado por el Red Iberoamérica de potabilización del agua (RIPDA), con relación al sulfato de aluminio.

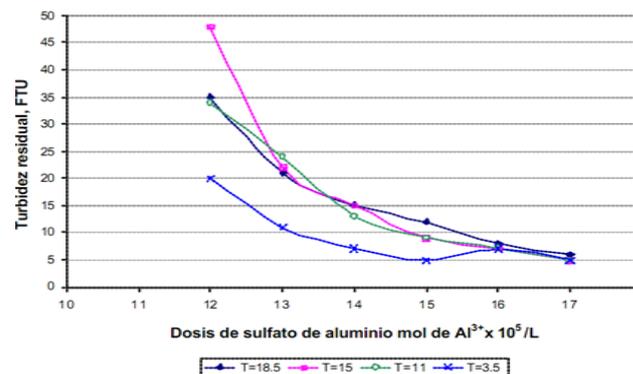


Figura 6. Efecto de la temperatura y el sulfato de aluminio en la turbidez

Fuente: Cárdenas,2000.

2.2.4 Fuentes contaminantes

Entre las principales fuentes contaminantes tenemos:

- Procesos de explotación de yacimientos mineros.



- Pasivos ambientales.
- Depósitos de concentrados de plomo y otros metales pesados.
- Vertimientos industriales y mineros informales. Emisiones industriales, aguas residuales.
- Fundiciones artesanales.
- El manejo inadecuado de sustancias tóxicas peligrosas.
- Incremento desordenado del parque automotor.
- Procesos y desechos de la Agroindustria.
- Botaderos municipales.
- Arrojos de residuos sólidos al margen de los ríos.

2.2.5 Factores principales

Existen dos factores principales que contribuyen a la contaminación ambiental por plomo y otros metales pesados y a los daños a la salud de las personas (San martin, 2015):

2.2.5.1 Factores antropogénicos

Causados por las actividades económicas, entre las cuales están la minería, industria, agricultura, etc. Entre cuyos procesos se encuentran:

- Explotación minera.
- Movimiento de tierra (explotación minera, construcción). Transporte de sustancias peligrosas.
- Manipulación inadecuada de residuos sólidos.
- Fuentes móviles (gases de combustión)



Se entiende por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales que dependen e inciden directamente en la salud del río: agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico. (Rojas, 2015)

2.2.5.2 Factores Naturales

Fenómenos y Accidentes Ambientales. Ciclos biogeoquímicos: Los cuales coadyuvan al transporte y transformación de los agentes contaminantes, ejemplo por el ciclo del agua. Agua de escorrentía. (San martin, 2015)

La especiación de un metal puede deberse a la acción ejercida por determinados organismos sobre los metales. La actividad metabólica de los microorganismos juega un papel importante en la movilidad de los elementos tóxicos en el medio ambiente. La insolubilización y acumulación de metales pesados puede asociarse con la biodegradación de los ligandos orgánicos que forman los complejos órgano-metálicos solubles. El metal puede ser precipitado como hidróxido y/o adsorbido por los microorganismos que, en función de su tamaño y composición de sus paredes celulares, actúan como activas orgánicas. (Rosas, 2001)

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo una alta concentración de metales puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación. La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos

derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota. (Dionisio, 2012)

2.2.6 Clarificación de agua

La clarificación consiste en la remoción de la turbidez del agua. Para remover las partículas que generan esta turbidez, es preciso alterar algunas de sus características, a través de los procesos de coagulación, floculación y filtración descritos en la figura 8. (Ambiente, 2004).

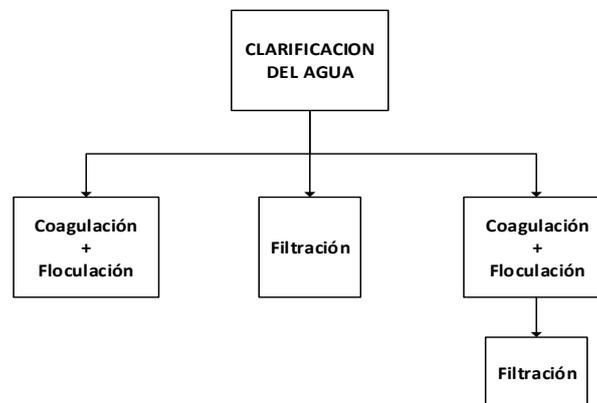


Figura 7. Proceso de clarificación del agua

Fuente: Tratamiento de agua para consumo humano - Plantas de filtración rápida

Manual 1: Teoría-Tomo 1 Capítulo 3 Procesos unitarios y plantas de tratamiento

2.2.7 Características fisicoquímicas del agua

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química. Aunque solamente alrededor del 2% del agua de consumo público se destina a uso de boca, el consumidor es cada vez más exigente en relación al olor y sabor del agua que recibe. Estas dos características, junto con el color y la turbidez (parámetros organolépticos), son los únicos que el consumidor puede apreciar por sí mismo y cualquier cambio que percibe tiende a asociarlo a algún riesgo sanitario. Es por ello que el tema de los gustos y olores en las aguas, sean crudas o tratadas, es un tema de interés creciente para las empresas

suministradoras de agua potable y para todas aquellas organizaciones involucradas en el ciclo del agua. (Arboleda, 2000)

Tabla 2.

Características del agua

Físicos	Turbidez, olor, color, sabor Temperatura, solido, conductividad
Químicos	pH , dureza, acidez, alcalinidad, fosfatos, sulfatos, Fe , Mn, Cloruros, oxígeno disuelto, grasay/o aceites, amoniac, Hg. Ag. Pb.Zn. Cr. Cu. B. Cd. Ba. As., nitratos, pesticidas, etc
Biológicas y Microbiológicas	Protozoarios (patógenos), Helminfos (patógenos), coliformes fecales, coliformes totales

Fuente: Alboleda, (2000)

Las características propias de cada fuente de agua permiten su clasificación: agua potable, agua servida, agua residual industrial, aguas negras, etc.; permiten su uso: para consumo, riego, refrigeración, producción de vapor, como disolvente etc. Y permiten su comparación en cuanto a la calidad que presenten para la misma aplicación. El agua para consumo humano es la más estudiada de acuerdo a sus características, debido al impacto que tiene sobre la salud y después de investigar las causas de epidemias mundiales que fueron causadas por aguas contaminadas, devastando grandes centros urbanos, se llegan a plantear valores máximos permisibles de diferentes características. (Arboleda, 2000)

- **Turbidez**

La turbidez es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión.



Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua. (Romero J. , 2009)

- **Color**

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ión metálico trivalente como el Al^{+3} o el Fe^{+3} .

La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objetivo esencial del tratamiento. (Romero J. , 2009)

- **Sabor y Olor**

Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, sulfuro de hidrógeno, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

Tanto el olor como el sabor pueden describirse cualitativamente y esto es muy útil especialmente en casos de reclamos por parte del consumidor; en general los olores son



más fuertes a altas temperaturas. El ensayo de sabor solo debe hacerse con muestras seguras para consumo humano. (Romero J. , 2009)

- **Temperatura**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de Oxígeno Disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio, se relacionan con la temperatura. La temperatura del agua varía seg(m la región geográfica y el clima. En general, mientras no exceda los 30°C no presenta un problema mayor. (Romero J. , 2002)

- **pH**

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Por definición, el pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 6,5 y 8,5. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados. (Arboleda, 2000)

2.3 COAGULANTES UTILIZADOS

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente



con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando. Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- Sulfato de Aluminio.
- Aluminato de Sodio.
- Cloruro de Aluminio.
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.
- Poli electrolitos (Como ayudantes de floculación).

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrolisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados. (Cárdenas, 2000)

2.1.3.1 Factores que influyen en el proceso

La coagulación es probablemente la fase más importante del tratamiento del agua; una coagulación inadecuada no puede ser corregida en una etapa posterior de tratamiento, perjudicando la eficiencia de todos los procesos siguientes.

La optimización de este proceso depende de una serie de variables que deben ser consideradas tanto en el diseño como en la operación, siendo las principales las siguientes:

- Características físicas y químicas del agua
- Dosis de coagulante



- Concentración del coagulante
- Punto de aplicación del coagulante
 - Intensidad y tiempo de mezcla
 - Tipo de dispositivo de mezcla (Pérez, 1986)

2.1.3.2 Etapas del proceso de coagulación

(Márquez, 1994)

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

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

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

4ta Fase: Adsorción mutua entre los coloides.

5ta Fase: Acción de barrido.

Cuando agregamos un coagulante al agua, éste se hidroliza y puede producir la desestabilización de las partículas por simple adsorción específica de los productos de hidrólisis, generalmente con carga positiva, en la doble capa que rodea a los coloides negativamente cargados (compresión de la doble capa o neutralización de las cargas), o por interacción química con los grupos ionizables de su superficie. La teoría química y la de la doble capa son las más aceptadas universalmente y explican la estabilidad de los coloides (Fontanills, 1998)

Las fases pueden coexistir y en ocasiones invertirse (re estabilización); las fases uno y tres pueden ser simultáneas cuando se agregan poli electrolitos al agua, esto es coagulantes que están previamente polimerizados, en cuyo caso la desestabilización es debida a la adsorción de las cadenas agregadas con el poli electrolito; cuando se usan



coagulantes metálicos la desestabilización y la polimerización pueden ocurrir como fenómenos separados, no necesariamente consecutivos. Todas las reacciones dependen de la alcalinidad, del pH y de la temperatura del agua (Pérez, 1986)

2.1.3.3 Mezcla rápida

La coagulación es efectuada mediante una agitación intensa del agua, llamada mezcla rápida, que tiene por objeto hacer que el coagulante se difunda lo más rápido y uniformemente posible en toda la masa de agua.

2.4 ESAYOS PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN

Ensayo de jarras.

El ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química del agua. Este también tiene otros propósitos:

- Selección del tipo de coagulación más efectivo.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Evaluación de la dosis optima de coagulante.
- Determinación de la dosis de ayudante de coagulación.
- Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos.
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradiente de velocidad y tiempo de mezcla.
- Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa (SENA). (Romero R. , 1996)

2.5 FLOCULACIÓN

Es el proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado floculo y se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. Operativamente, la floculación se consigue recurriendo a una mezcla moderada y prolongada que transforma las partículas coaguladas de tamaño submicroscópico en otras suspendidas, discretas y visibles (Pradilla, 1994)

La solución floculante más adecuada a la naturaleza de los materiales en suspensión con el fin de conseguir aguas decantadas limpias y la formación de lodos espesos se determina por pruebas, ya sea en laboratorio o en el campo.

En la minería, los floculantes utilizados son polímeros sintéticos de alto peso molecular, cuyas moléculas son de cadena larga y con gran afinidad por las superficies sólidas. Estas macromoléculas se fijan por adsorción a las partículas y provocan así la floculación por formación de puentes Inter partículas.

2.5.1 Tipos de floculación

- **Floculación Pericinética**

Esta producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano. (Frank, Kemmer, & Mccallion, 1992)

- **Floculación Ortocinética**

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



Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microfloculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinetica luego se produce la floculación ortocinetica. (Frank, Kemmer, & Mccallion, 1992)

2.5.2 Factores que influyen en la floculación

- Concentración y naturaleza de las partículas

La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas (Rodríguez, 1995)

- Tiempo de detención.

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades (Rodríguez, 1995)

- Gradiente de velocidad.

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados (Rodríguez, 1995)

2.5.3 Floculantes más usados. mecanismo de acción

En la coagulación, dosis fuertes de coagulantes producen un exceso de fangos que generalmente crean problemas. Por otro lado, no se consigue siempre un precipitado que posea las características deseadas para una buena separación. Por estas razones, se ha



recomendado el uso de floculantes y/o ayudantes de la floculación⁶. Para procesos de clarificación se han estado usando los siguientes (Márquez, 1994):

Sílice activada: Fue el primer floculante empleado y sigue siendo el que mejores resultados puede dar cuando se emplean sales de aluminio. Consiste en una solución de ácido polisilícico (H_2SiO_3)₄, procedente de una polimerización controlada del silicato de sodio ($NaSiO_2$) en medio ácido. Su mayor desventaja es su inestabilidad.

Arcillas: Bentonitas, caolinitas son añadidas como lechadas para aumentar frecuencia de colisiones y aumentar el peso en el flóculo.

Otros floculantes minerales: carbón activado en polvo, arena fina (diatomeas), blanco de mendón ($CaCO_3$ precipitado), etc. Estudios recientes han demostrado la efectividad de floculantes como la zeolita natural, bentonita natural, bentonita sódica, dolomita y el vidrio volcánico que mezclados con el sulfato de aluminio en proporción 1:1 son capaces de remover el 93-97 % de la turbiedad inicial, así como, el 36-88 % del color aparente, el 50-72 % de la materia orgánica, el 88-94 % del manganeso inicial del agua cruda, produciendo un gran ahorro del sulfato de aluminio .

Polímeros orgánicos naturales: Son principalmente almidones (polisacáridos) extraídos de granos semillas y corteza de origen vegetal así como varios tipos de suelos. Generalmente no tienen un peso molecular tan alto como los polímeros sintéticos.

Polímeros orgánicos sintéticos: Son producidos por la transformación química de los derivados del petróleo y del carbón y aunque no todos se encuentran en forma de polvo seco están generalmente constituidos por poliacriinas (no iónicos) o poliacriida hidrolizado (aniónicos) con alto peso molecular, que van a favorecer la aglomeración de los flóculos a través de puentes. Un polímero es simplemente una macromolécula que tiene una unidad simple repetida (monómero), algunos de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables (Chedoba, Menéndez, & Pérez, 1996)



En los estudios de floculación con polielectrolitos se ha encontrado que la distribución del diámetro de las partículas es un parámetro de influencia en la dosis óptima del polímero requerido para flocular una suspensión (Sagasta, 2012)

Se puede afirmar que para cada polielectrolito existe una dosis óptima, cualquiera que sea el uso y que si se sobrepasa esta dosis puede producirse una reestabilización de coloides y un desmejoramiento de la calidad del agua tratada 7,8. Según el carácter iónico de su grupo activo, los polímeros sintéticos, llamados "polielectrolitos" comprenden:

Polímeros no iónicos: Las poliacrilamidas ($2-4 \times 10^6$ g/mol) son usadas en clarificación y deshidratación de lodos, incrementan la resistencia del flóculo y frecuentemente se utilizan también como ayudantes de filtración en línea. Las poliaminas de cadenas más cortas (menor de 1×10^6 g/mol), son usadas sólo en clarificación como coagulantes primarios y como ayudante de coagulación la de alto peso molecular .

Polímeros aniónicos: Son polielectrolitos cargados negativamente y caracterizados por la coexistencia de grupos que permiten la adsorción y grupos ionizados negativamente (carboxílicos o sulfúricos), cuyo papel consiste en provocar la extensión del polímero. Entre éstos podemos mencionar las poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas con sosa cáustica (Sagasta, 2012)

Polímeros catiónicos: Son polielectrolitos cargados positivamente que poseen en sus largas cadenas una carga eléctrica positiva, debido a grupos aminos, amonio cuaternario, capaz de remover la turbidez y el color, acondicionador de lodos, con peso molecular entre 10^4-10^6 g/mol y pueden usarse junto a coagulantes inorgánicos, resistentes al cloro, su densidad de carga no es sensible a cambios de PH. Las poliaminas cuaternarias con peso molecular más bajo (10^4-10^5 g/mol) son usadas mayormente como coagulante primario para la remoción de color. Las poliaminas (10^4-10^7 g/mol) menos frecuente es usada como coagulante primario, reacciona con el dicloro y es sensible a

cambios de pH. Los polielectrolitos catiónicos funcionan como coagulantes (neutralización de cargas).

2.5.4 Sulfato de aluminio

Otro de los coagulantes inorgánicos usados en este trabajo es el sulfato de aluminio. El sulfato de aluminio es un producto que, tanto en su forma sólida como en disolución, se produce a partir de un mineral rico en aluminio (como puede ser la bauxita, caolín, arcilla o bien hidratos de aluminio) que es atacado por el ácido sulfúrico, según la reacción:



Al evaporar el exceso de agua se obtiene el producto comercial seco, cuya fórmula es $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, que posterior y convenientemente molido proporciona un producto con una granulometría idónea, según exigencias del mercado. En la Tabla 3. se detallan las especificaciones del sulfato de aluminio sólido.

Tabla 3.

Especificaciones sobre el sulfato de aluminio

Parámetro	Especificaciones AWWA
Óxido de aluminio Al_2O_3	> 17 %
Al_2O_3 combinado	> 16,95 %
Al_2O_3 soluble libre	> 0,05 %
Hierro (como Fe_2O_3)	< 0,75 %
Insolubles en agua	< 0,50 %
Densidad aparente	1,0 – 1,1 g/cc

Fuente: (Metcalf & Eddy., 2003)

Los efectos del tratamiento de agua con sulfato de aluminio son los siguientes:

a) Eliminación de la turbidez. Los complejos polinucleares desempeñan un importante papel en la neutralización del potencial Zeta y por tanto en la reducción de la turbidez existente en el agua.



b) Reducción de la coloración. Otra característica básica en la aplicación de sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas es la capacidad de reducción de la coloración de estas, fruto de la descomposición de la materia orgánica de tipo vegetal (hojas, maderas, tierra, etc.) originando ácidos húmicos y fúlvicos que aportan el color característico del agua natural sin tratar

c) Reducción de olores y sabores. Otro aspecto interesante del sulfato de aluminio en su acción con el agua es la reducción de olores y sabores indeseables, debidos a algas, gases disueltos y materia orgánica en general (húmica o fúlvica). Por medio de la coagulación se reducen sabores y olores, si bien pueden disponerse de tratamientos más específicos o enérgicos, como son el carbón activo, la oxidación con cloro, permanganato potásico u ozono, o incluso la aireación natural.

d) Eliminación de bacterias y virus. Un cuarto aspecto en las habilidades del sulfato de aluminio es su capacidad en la eliminación de bacterias y virus a lo largo del proceso de coagulación, aun sin ser un bactericida ni viricida. Una buena garantía de ello lo indica la propia eficacia en la reducción de la turbidez (completada con una etapa de filtración y otra de desinfección final).

e) Presencia de aluminio residual en el agua tratada. Por último, al margen del contenido de aluminio del agua bruta, es necesario señalar que el aluminio residual del agua tratada con sulfato u otra sal de aluminio, es un indicador de cómo se ha llevado el proceso de coagulación.

f) Dosificación. La dosificación de sulfato de aluminio en el agua es función de sus características, siendo muy variable en todos los ámbitos: potable, industrial, residual, etc. En cualquier caso, la dosis óptima se establece mediante pruebas de laboratorio y ajustes en planta.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se ejecutó en el Laboratorio de química de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA – Puno. Que está a 3814 m.s.n.m. y la temperatura ambiental aproximada de 13 a 15 °C respectivamente.

Ubicación:

Provincia : Puno
Distrito : Puno
Departamento : Puno
Dirección : Av. Sesquicentenario N° 1150

3.2 MATERIALES

3.2.1 Materia prima

- Agua del rio Suches

3.2.2 Instrumentos de laboratorio

- Agitador magnético “jar-test”, Marca CAT M6.1 (0-1600) rpm
- pH metro, Marca FISHER SCIENCE EDUCATION
- Espectrofotómetro de Absorción atómica
- Equipo de filtración, papel Filtro de 0,45µm
- Balanza analítica, Marca METTLER TOLEDO AB2 04 Max. 210g Min. 10 mg

3.2.3 Materiales de laboratorio

- Soporte de embudo
- Equipos de filtración, papel Filtro



- Termómetro digital
- Vasos de precipitado
- Matraz de Erlenmeyer de 500 ml
- Pipetas
- Fiolas
- Probeta

3.2.4. Reactivos

- Sulfato de aluminio, marca MARTELL, pureza Al_2O_3 (%): ≥ 17
- Hidróxido de sodio (soda caustica), marca MERCK pureza (%) 99
- Agua destilada, marca ALKOFARMA

Los reactivos sulfato de aluminio y hidróxido de sodio, ambos se adquirieron del laboratorios Servicios Analíticos Químico-Metalúrgico (RHLAB S.A.C.)

3.3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.3.1 Ámbito de estudio

La presente investigación se circunscribe a realizar la remoción de plomo por el método de coagulación- floculación en la cuenca del río suches ubicado en el distrito de Cojata provincia de Huancané y departamento de Puno.

3.3.2 Técnicas de muestreo

Se tomó la muestra de la cuenca de río suches por el muestreo manual la localización de muestreo fue de manera fija y simple en el hito 18 en el cual se recogió en 4 envases limpios de vidrio de 1L respectivamente para posteriormente enviar para su análisis al laboratorio RH LAB S.A.C de la ciudad de Juliaca.

3.3.3 Caracterización inicial de las aguas residuales del río Suches

En esta parte de la metodología se basó en caracterizar la muestra de las aguas del río suches ubicado en el lugar perlas del distrito de Cojata Provincia de Huancané departamento Puno. Para lo cual se mandó al laboratorio RH LAB S.A.C. de la ciudad de Juliaca donde se obtuvo los resultados que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Concentración inicial de metal plomo en la cuenca del río Suches

Elemento	Concentración (mg/L)
Pb	0,1235

Fuente:Elaboración propia

3.3.4 Análisis químico de las aguas del río Suches

Según la tabla anterior el análisis químico efectuado en la cuenca del río suches se puede observar que superar los límites permisibles de los Estándares de calidad Ambiental .

3.3.5 Prueba de jarras

Este método determina las condiciones de operación óptimas generalmente para el tratamiento de aguas, permite ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial. Una prueba de jarras puede simular los procesos de coagulación o floculación que promueven la recuperación de metales suspendidos.

Es el método más utilizado para la determinación del coagulante óptimo y su dosis, además de otros parámetros como velocidad de agitación, tiempo de mezcla, temperatura y pH. Consiste en una serie de recipientes a los que se adicionan distintas dosis de coagulantes. (Tapia, 2017)

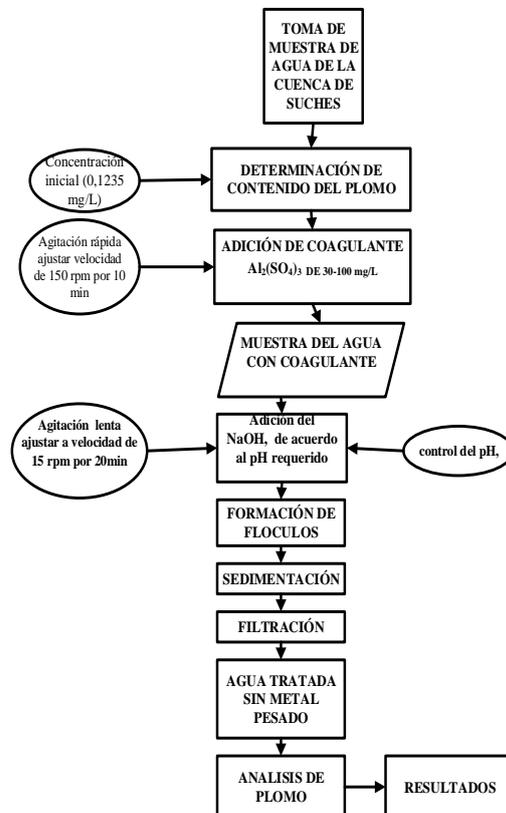


Figura 8. Equipo de Prueba de jarras

3.3.6 Descripción de operación del Aparato prueba de jarras

La prueba de jarra contiene cuatro contenedores cada uno de 1000 ml con sus respectivos remos. Un envase actúa como un control, mientras que la condición de funcionamiento puede variar entre los restantes tres contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores.

3.3.7 Diagrama de flujo



Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Para esta prueba se utilizaron lo siguiente

El compuesto químico que se han utilizado como agente coagulante es el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y como floculante el hidróxido de sodio (Na OH).

Tabla 5.

Coagulación - Floculación

COAGULACION	FLOCULACION
100 mg/L ($Al_2(SO_4)_3$) (10%)	2 mg/L de NaOH
Velocidad de agitación:150 rpm	Velocidad de agitación:15 rpm
Tiempo:10 min	Tiempo:20 min

Fuente:Elaboración propia

3.3.9 El procedimiento que se siguió es el siguiente

Se prepararon ocho vasos de precipitados de 1000ml de capacidad del equipo de prueba de jarras, introduciendo en cada uno 150 ml del agua a tratar.

El tratamiento ha consistido en la adición del coagulante ($Al_2(SO_4)_3$), mililitro a mililitro hasta llegar a una concentración de 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 ppm (mg/L) en este proceso se observó una buena formación de coágulos. Luego se agitó de forma enérgica a 150 rpm durante 10 minutos. Se adicionó el floculante NaOH g para ajustar el pH de cada muestra a un pH distinto (3,5; 5; 6,5; 7; 8,1; 9,3; 10; 11), de una forma u mezclado más lenta a 15 rpm durante 20 minutos donde se da la formación de floculos que luego sedimentan. Transcurrido este tiempo se levantó el agitador, teniendo cuidado de no romper flóculos. Se hicieron las pruebas necesarias con el precipitante hidróxido de sodio, una vez que se formaron los precipitados, se dejó durante 40 minutos para que sedimente y luego se procedió a filtrar el contenido de los contenedores para posteriormente llevar a análisis para su determinación de contenido a los Laboratorios de Servicios Analíticos Químico-Metalúrgico (RHLAB S.A.C.).



3.3.10 Definir el modelo matemático para la recuperación de plomo por el proceso de Coagulación-Floculación.

3.3.10.1 Desarrollo del modelo matemático por experimentación y estadística.

➤ **Diseño factorial 2k**

Para definir el modelo matemático para la recuperación de plomo de las aguas del río Suches por el proceso de coagulación-floculación, se ha utilizado es el programa Statgraphics Centurión XVI, técnica estadística que permite planificar eficientemente la experimentación de modo que con un determinado número de ensayos se logre determinar la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas, el efecto de sus interacciones, obteniéndose un modelo matemático empírico, que constituye la base para un proceso posterior de optimización.

$$N = 2^k$$

Siendo:

N = Número total de experimentos

k = Número de variables

En nuestro caso, como hemos mencionado, se realiza un experimento que depende de tres factores y se plantea dos niveles, por lo que se requerirán:

Número de experimentos: $N=2k = 2^3 = 8$ experimentos

➤ **Identificación de las variables de trabajo**

En el presente trabajo de investigación se ha efectuado la optimización eficaz del proceso, encontrando los rangos de trabajo más óptimos de dicho proceso, se trabajó en función a los factores y niveles establecidos anteriormente de la siguiente tabla:

Tabla 6.

Variables -datos del diseño experimental

SÍMBOLO	NOMBRE DE LAS VARIABLES	UNIDAD	X mín. (-)	X máx. (+)
X ₁	• velocidad de agitación	• rpm	15	150
X ₂	• tiempo de mezcla	• Minutos	10	20
X ₃	• pH.	• Escalar	3,5	11

Fuente: Elaboración propia

➤ **Diseño factorial experimental**

Para un diseño factorial 2^3 para tres factores o variables originales (tiempo, velocidad y pH) y cada factor con tres niveles ($N = 2k$), donde $k = 3$, se tiene el siguiente modelo matemático:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3$$

Dónde:

Y = Variable respuesta Rendimiento

X₁, X₂, X₃ = Variables codificadas de entrada de velocidad, tiempo y pH.

X₁X₂, X₁X₃, X₂X₃, X₁X₂X₃ = Interacciones entre las tres variables principales

Se debe hallar en primer lugar los valores de X₁, X₂ y X₃ en función a las variables de entrada del proceso y luego los valores b₀, b₁, b₂, b₃ B₇ (coeficientes de regresión) en función a la variable respuesta Rendimiento de recuperación (Y).

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de rendimiento de plomo recuperado de las aguas del río Suches, el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\% \text{ RENDIMIENTO} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Dónde:

%R = Rendimiento

W_1 = Peso inicial de Pb

W_2 = Peso de Pb recuperado

Tabla 7.

Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial

N° DE PRUEBA	W_1 (mg)	W_2 (mg)	RENDIMIENTO %
1	0,1235	0,009360	92,4210
2	0,1235	0,009378	92,4061
3	0,1235	0,009359	92,4213
4	0,1235	0,009378	92,4063
5	0,1235	0,009341	92,4360
6	0,1235	0,009372	92,4113
7	0,1235	0,009341	92,4363
8	0,1235	0,009372	92,4113

Fuente: Elaboración propia

Conforme a lo establecido, el diseño factorial es de 08 corridas experimentales previamente combinadas, lo que nos da una visión de los efectos de las variables que permitirá visualizar los efectos y resultados finales.



➤ **Matriz de diseño**

De acuerdo a los cuadros anteriores y el número de pruebas experimentales realizadas, para un diseño 2^3 se tiene 8 pruebas experimentales:

Tabla 8.

Matriz de diseño factorial $2^3 = 8$ para el Pb.

Nº DE PRUEBA	DISEÑO	COMBINACION DE NIVELES			VARIABLE RESPUESTA (RENDIMIENTO %) "Y"
		X ₁	X ₂	X ₃	
1	[1]	15	10	3,5	92,4210
2	A	150	10	3,5	92,4061
3	B	15	20	3,5	92,4213
4	Ab	150	20	3,5	92,4063
5	C	15	10	11	92,4360
6	Ac	150	10	11	92,4113
7	Bc	15	20	11	92,4363
8	Abc	150	20	11	92,4113

Fuente: Elaboración propia

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se procede a describir las características del entorno del proyecto para esta caracterización se toma en cuenta información referida del distrito de Cojata Provincia de Huancané y departamento de Puno.

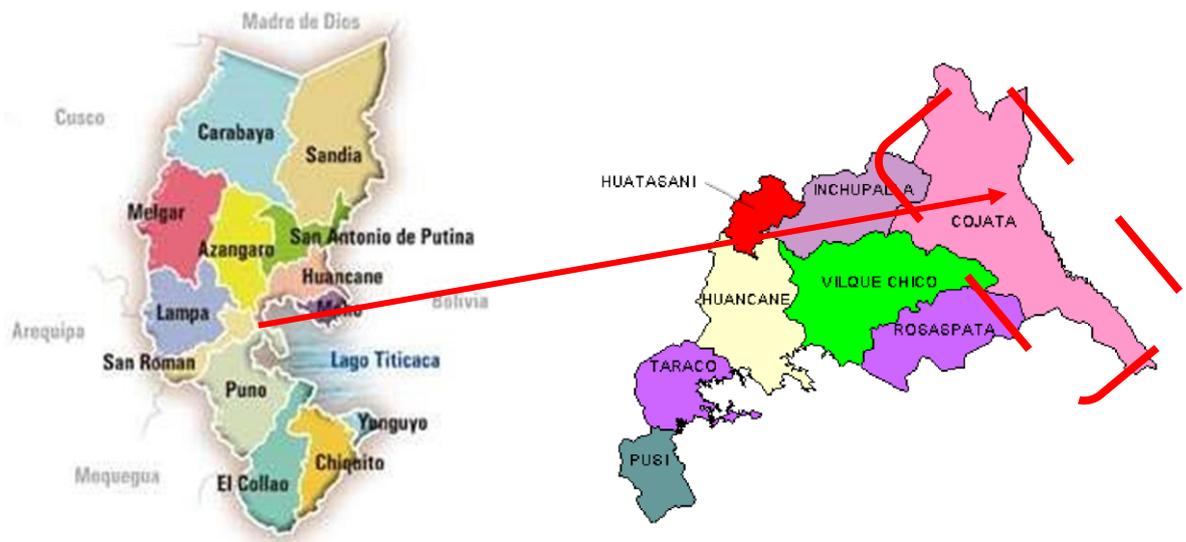


Figura 9. Mapa de Puno y Huancané

3.4.1 Ubicación

El río suches se ubica cerca al lugar llamado perlas en el distrito de Cojata Provincia de Huancané, departamento de Puno, a una altitud media 4364 m.s.n.m. las coordenadas geográficas 15°5'59"S 69°31'34"O. según la INEI .

3.4.2 Límites.

Los límites del distrito de Cojata son:

Norte : Distrito de Ananea

Este : Bolivia

Sur : Distrito de Huayrapata

Oeste: Distrito de Inchupalla

3.4.3 Geografía

- **Altitudes**

Diversas mediciones indican las siguientes altitudes:

- 4355 m s. n. m. en el distrito de Cojata.
- La altitud promedio y oficial es de 4364 m.s.n.m. (Según INEI)



Figura 10. Mapa referencial

- **Relieve**

En la provincia de Huancané y el Distrito de Cojata, el relieve se encuentra en la cordillera de los andes; por esta razón su relieve es accidentado con grandes elevaciones.

- **Clima**

Según SENAHMI el clima de la zona es semi seco con temperaturas máximas de 14 °C y -2.2 °C como mínimo, produciéndose congelamiento en los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto; teniendo un régimen de lluvias en promedio de Diciembre a Abril.

La estación húmeda se presenta aproximadamente de Diciembre a Marzo por la presencia de lluvias, la estación seca se produce en los meses de mayo a setiembre. Las precipitaciones pueden presentarse también en forma de nieve o granizo. Estas condiciones traen como consecuencia una irregular distribución del agua durante el año; la temporada de heladas se presenta con más fuerza los meses de junio y julio.

En general el clima de la zona de estudio se distingue en lo siguiente:

- Es frígido, ventoso y con escasa humedad.



- Predomina el contraste térmico. Hay períodos en que el frío y el calor devienen en insoportables.
- En épocas de lluvias, generalmente entre enero y marzo, suelen hacerse presente granizadas, nevadas, truenos, relámpagos y rayos. Los vientos de diversa forma e intensidad son frecuentes.

3.4.4 Hidrografía

Cojata se caracteriza por tener pequeños y efímeros riachuelos o lagunillas que depende de las lluvias, también en algunos lugares se destaca la presencia de ojos de agua o manantiales provenientes desde el subsuelo, que abastecen de agua durante los meses de Mayo a Octubre, caso la parcialidad de Mallcunuta, Comunidad de Quenajani, Comunidad de Tumapirhua, entre otros. Pero sin embargo la única fuente de vida de mayor importancia es el río Suches, de régimen irregular, vale decir que en épocas de lluvias su caudal aumenta y en las épocas secas disminuye enormemente. El río suches nace de laguna del mismo nombre y durante su recorrido en la dirección de norte a sur, abre su paso a diferentes comunidades campesinas y/o parcialidades, incluso se considera como una frontera natural entre Perú y Bolivia, finalmente este río desemboca a lago Titicaca.

3.4.5 Demografía

Según INEI – 2017 La población total del distrito de Cojata es de 3764 hab con una densidad de 4.94 hab/km²

3.4.6 Flora

La vegetación natural de esta zona es de grandes extensiones de pastos naturales constituidos principalmente por especies de la familia de las gramíneas, con los géneros



Ichu, Stipa, Calamagrostis, Festuca, y crespillo, así como Tetraglochin cristatum "kailla" y Alquemilla pinnata, con presencia plantas silvestres , ichu, sunchu, etc. No se observa áreas agrícolas.

3.4.7 Fauna

El área de estudio en parte y en general del distrito de Cojata es básicamente una zona de Expansión Urbana Donde la presencia de animales silvestres es casi nula y Rural donde la población se dedica a la Ganadería alpaquera, la fauna existente es fundamentalmente de aves como el puco-puco, lique lique, golondrinas, gaviotas, etc. Además podemos acotar que, La fauna en alrededores de la zona de estudio, está constituida por alpacas, llamas, zorrinos, cuy silvestre, liebres silvestres, pequeños roedores, Entre las aves podemos notar la existencia de lechuzas, gorrión , algunas especies de perdices, La población cría animales domésticos para autoconsumo como gallinas, alpacas, llamas, ovejas y perros. Además, se puede apreciar en la zona la aparición de algunas pequeñas serpientes y lagartijas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Definir la tecnología propuesta de coagulación- floculación dando a conocer los parámetros óptimos de velocidad de agitación, tiempo de retención y pH.

El objetivo es la recuperación de plomo por coagulación –floculación en la cuenca del río Suches utilizando $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante y NaOH como floculante.

Condiciones del Procedimiento.

En el proceso de recuperación del plomo se estudiaron la influencia de la velocidad de agitación, pH y dosis de coagulante y se fijaron las siguientes condiciones: tiempo de mezcla 10 a 20 minutos, pH de 3.5 -11, velocidad de agitación en el rango de 15-150 rpm y dosis de coagulante 30 a 100 mg/L.

El tiempo de formación de los flóculos es de 8.1 segundos con el hidróxido de sodio como floculante.

Tabla 9.

Resultados de porcentaje de remoción de Pb

Nº de Pruebas	Velocidad Agitación (RPM)	Tiempo de Agitación (min)	pH	Concentración inicial de Pb (mg/L)	Concentración final de Pb (mg/L)	Rendimiento de remocion (%)
1	15	10	3,5	0,1235	0,009360	92,4210
2	150	10	3,5	0,1235	0,009378	92,4061
3	15	20	3,5	0,1235	0,009359	92,4213
4	150	20	3,5	0,1235	0,009378	92,4063
5	15	10	11	0,1235	0,009341	92,4360
6	150	10	11	0,1235	0,009372	92,4113
7	15	20	11	0,1235	0,009341	92,4363
8	150	20	11	0,1235	0,009372	92,4113

Fuente: elaboración propia de acuerdo a resultados obtenidos



En la **tabla 9**, muestra los resultados del porcentaje de rendimiento de remoción del metal Pb obtenidos del proceso de coagulación – floculación . Para el diseño experimental se realizaron 8 pruebas experimentales, con variable de velocidad de agitación 15 y 150 , tiempo de agitación 10 y 20 y pH 3,5 y 11 .Asimismo en la tabla muestra las concentraciones iniciales y concentraciones finales del metal Pb, con cuyos datos se ha calculado el rendimiento de remoción para Pb.

El resultado se observa en la **tabla 9**, que la máxima disminución de concentración del metal Pb en las aguas de la cuenca del rio Suches obtenida inicialmente es de 0,1235 mg/L hasta una concentración final de 0,009341 mg/L que equivale al 92,4363 % de remoción del metal Pb y con un pH optimo 11 , velocidad optima 15 rpm a un tiempo de 20 min mediante el tratamiento con sulfato de aluminio coagulante sintético y hidróxido de sodio floculante sintético.

Los autores Cosme & Zevallos (2017) ,afirma que se obtuvo una remoción de 88,36 % de plomo aplicando policloruro de aluminio como coagulante sintético siendo el más eficaz y un porcentaje de 73,41 % de plomo aplicando coagulante natural la *Opuntia floccosa* realizados mediante el método de prueba de jarras.

4.1.1.1 Tratamiento estadístico del diseño factorial

Este diseño factorial resume los resultados del ajuste a un modelo estadístico relacionando Capacidad de adsorbente de los factores experimentales. La tabla ANOVA particiona la variabilidad de la capacidad de adsorción de Pb entre los valores de respuesta observados en varias componentes.

Tabla 10.*Efectos estimados para Y*

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	92,4187	0,00123788	
A: Velocidad	-0,0199	0,00247576	1,0
B: Tiempo	0,0002	0,00247576	1,0
C: pH	0,01005	0,00247576	1,0

Fuente: Estimación de respuesta por programa STATGRAPHICS

Errores estándar basados en el error total con 4 g.l.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

4.1.1.2 Analisis de varianza

Tabla 11.*Análisis de Varianza para Y*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Velocidad	0,00079202	1	0,00079202	64,61	0,0013
B: Tiempo	8.E-8	1	8.E-8	0,01	0,9395
C: Ph	0,000202005	1	0,000202005	16,48	0,0154
Error total	0,000049035	4	0,0000122588		
Total (corr.)	0,00104314	7			

Fuente: Estimación de ANOVA por programa STATGRAPHICS

R-cuadrada = 95.2993 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 91.7738 por ciento

Error estándar del est. = 0.00350125

Error absoluto medio = 0,002475

Esta tabla 11 resume los resultados del ajuste a un modelo estadístico relacionando Capacidad de adsorbente de los factores experimentales. La tabla ANOVA particiona la variabilidad de porcentaje de remoción de plomo (Y) en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen una valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica =. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,00350125. El error medio absoluto (MAE) de 0,002475.

4.1.1.3 Estimación de efectos y modelo matemático

Tabla 12.

Coefficiente de regresión para Y

Coefficiente	Estimado
Constante	92,4208
A:Velocidad	-0,000147407
B:Tiempo	0,00002
C:pH	0,00134

Fuente: Estimación de coeficientes por el programa STATGRAPHICS

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es :

$$Y = 92,4208 - 0,000147407*Velocidad + 0,00002*Tiempo + 0,00134*pH$$

4.1.1.4 Optimización de respuesta

Meta: maximizar porcentaje de remoción

Valor óptimo = 92,4338

Tabla 13.

Optimizar Respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Velocidad	15,0	150,0	15,0
Tiempo	10,0	20,0	20,0
pH	3,5	11,0	11,0

Fuente: Optimización de respuesta por programa STATGRAPHICS

La tabla 13 muestra las variables optimas de pH 11,0 tiempo optimo 20,0 y velocidad optima 15,0.

4.1.1.5 Diagrama de Pareto

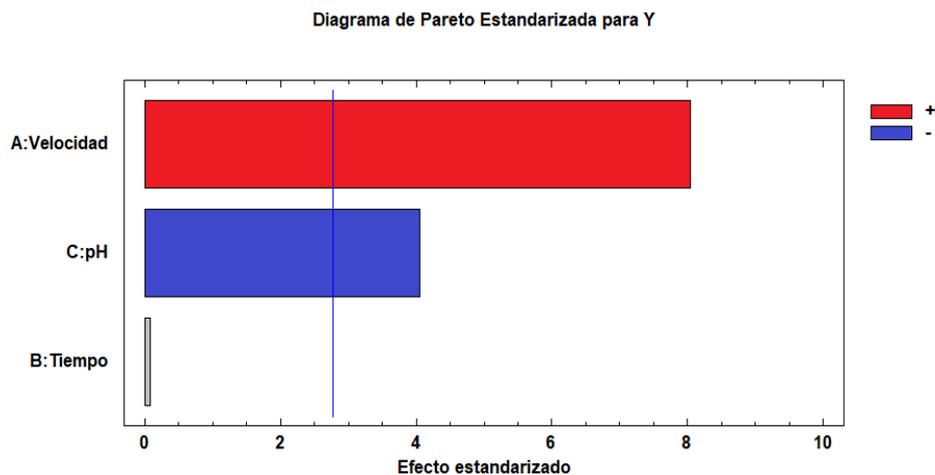


Figura 11. Variable respuesta Y

Esta ventana muestra la ruta ascendente (o descendente). Este es el camino del centro de la región experimental actual a lo largo de la cual la respuesta estimada varía rápidamente con una variación mínima en los factores experimentales. Indica localizaciones buenas para ejecutar experimentos adicionales si su objetivo es aumentar o disminuir Rendimiento.

Esta figura 11 muestra el diagrama de Pareto que es una representación gráfica del análisis de varianza, en él se describe los factores más influyentes en su respectivo

orden sobre la recuperación (adsorción) de Pb. Los efectos del color rojo son directamente proporcionales a la variable respuesta (capacidad de adsorción de Pb).

La figura 11 incluye una línea vertical cuya ubicación depende de intervalo de confianza determinado (95 %). todo efecto sobrepase la línea será de considerable significancia para el proceso. Del diagrama se observa claramente que la velocidad es la variable de mayor influencia, seguido de las cuadraturas del pH y Tiempo.

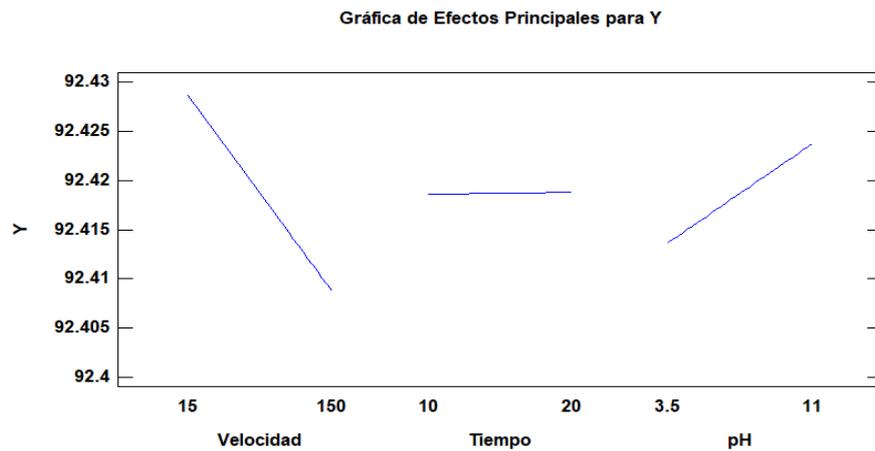


Figura 12. Interacción para el rendimiento

En la figura 12, se puede visualizar que no existe interacción entre la combinación de las variables, por lo que estas variables son independientes lo que corresponde a la superficie respuesta.

La velocidad y el pH tienen una tendencia a la regresión positiva, mientras que el tiempo no es representativo.

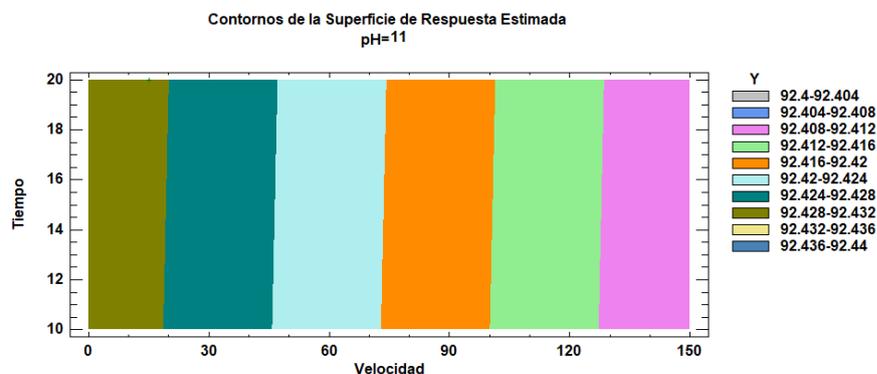


Figura 13. Contornos de superficie de la respuesta estimada



Visualizando la figura (apolíneas) 13, podemos interpretar que el valor óptimo para el pH es 11; para el tiempo es 20 min y para la velocidad 15 rpm.

Esta ventana muestra la ruta ascendente (o descendente). Este es el camino del centro de la región experimental actual a lo largo de la cual la respuesta estimada varía rápidamente con una variación mínima en los factores experimentales.

4.1.2 Determinación del modelo matemático para la recuperación de plomo por el proceso de Coagulación-Floculación de las aguas del río Suches.

4.1.2.1. Modelo matemático para la remoción de plomo en las aguas del río Suches.

La validez de los modelos de regresión matemático queda demostrada por la similitud de los valores hallados por el modelo matemático y los resultados experimentales.

Se concluye que la velocidad, es la variable más significativa en el proceso de eliminación del plomo con un valor de 20 min.

El coeficiente de correlación obtenido fue de $R^2 = 95,2993 \%$, siendo su modelo matemático:

$$Y = 92.4208 - 0.000147407 * \text{Velocidad} + 0.00002 * \text{Tiempo} + 0.00134 * \text{pH}$$



4.2 DISCUSIÓN

Meza, et al (2018), demostraron que el sulfato de aluminio removió 96 % la turbidez del agua de la ciénaga de Malambo, mientras que el coagulante natural lo hizo en un 64 %. Al tratarse solo del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación). El coagulante químico utilizado, es mucho más efectivo que el coagulante natural empleado para reducir la turbidez del agua de la ciénaga.

Según Cosme & Zevallos (2017), empleando el método de prueba de jarras para la remoción de plomo utilizando como coagulante policloruro de aluminio a una concentración de 20 ppm dando un porcentaje de remoción de plomo de 88,36 % siendo el más eficiente en los tratamientos realizados. y empleando coagulante de la *Opuntia floccosa* a una concentración de 30ppm dando un porcentaje de remoción de plomo de 73,41%.

En el trabajo de investigación de Laura (2018), estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina reporta que ocurre una mejor remoción en la actividad con floculante de la pectina de mandarina siendo el más eficiente con relación a la concentración de plomo logrando remover 71,95%; así también con respecto a la concentración de arsénico logrando un mayor porcentaje de remoción de 43,64%.

En el trabajo de investigación desarrollado por Apaza (2015), remoción de metales plomo (Pb) y zinc (Zn) de las aguas del río t'oro q'ocha por precipitación alcalina obtuvo una máxima remoción a partir de las variables de operación planteados para el diseño experimental de superficie de respuestas estadísticamente: pH 9,77 para Ca(OH)_2 y un pH 8,92 para NaOH, respecto a la velocidad de mezcla 40 rpm para ambos hidróxidos y para la velocidad de agitación (20 minutos) para ambos hidróxidos, con estas variables



logró una eficiencia de remoción Pb (99,10%), Zn (99,50%) utilizando Ca(OH)_2 y Pb (98,55%), Zn (99,06%) con NaOH respectivamente.

Según Cabrera (2018), Obtuvo la remoción de plomo de una muestra sintética empleando el proceso de biosorción con tallo de rosas los resultados optimos de remoción fue: pH 4, para una dosis de adsorbente 0,05 g de biomasa, empleando una concentración inicial del adsorbente de 10 mg/L de solución de plomo y un tiempo de agitación de 180 minutos, dando como resultado 99,66%; 99,72%; 99,04%; 95,94% de biosorción respectivamente. Indica que el parámetro significativo para el proceso y de mayor importancia para alcanzar altos porcentajes de remoción es el pH.

Por su parte en el trabajo de investigación de Monroy, (2019). Ha encontrado que la remoción del Plomo de soluciones acuosas es posible empleando adsorbente arcilla chacko (hidralgirita); Para el tratamiento de agua residual de mina, empleó 120 litros, obteniendo una remoción de plomo Pb (II) de 62,50 %A de adsorción, con capacidad de equilibrio (q) de 0,20 mg.g⁻¹; utilizando los valores determinados de los parámetros óptimos de cantidad de adsorbente chacko, pH y tiempo de agitación a 30 RPM. Utilizando Cal (CaO) artesanal en el proceso de floculación- sedimentación de flujo ascendente batch obtuvo 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-

Comparando los distintos procesos de tratamiento según los antecedentes se concluye que el presente trabajo de investigación recuperación del plomo por el método de coagulación – floculación utilizando prueba de jarras para el proceso experimental, empleando NaOH como floculante y sulfato de aluminio como coagulante alcanzaron una velocidad de agitación óptima de 15 rpm, un tiempo de 20 minutos a un pH de 11 en medio basico, con un porcentaje de remoción de 92,4363% Pb siendo el método eficaz y la mas viable.



V. CONCLUSIONES

- Los parámetros físico-químicos evaluados en el proceso de recuperación del plomo por el método de coagulación – floculación , utilizando NaOH como floculante alcanzaron una velocidad de agitación óptima de 15 rpm, un tiempo de 20 minutos a un pH de 11, siendo el factor más significativa la velocidad y con una eficiencia de remoción de Pb del 92,4363%.
- Para determinar el modelo matemático del diseño experimental se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS . La validez del modelo de regresión matemático queda demostrada por la similitud de los valores hallados por el modelo matemático y los resultados experimentales, el coeficiente de correlación obtenido fue de $R^2 = 95.2993 \%$. Por consiguiente se concluye que el proceso de recuperación de plomo es adecuado, obteniéndose el siguiente modelo matemático.

$$Y = 92.4208 - 0.000147407 * \text{Velocidad} + 0.00002 * \text{Tiempo} + 0.00134 * \text{pH}$$



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con los estudios más profundos para la recuperación de plomo u otros metales en otro tipo de agua y con diferentes coagulantes y floculantes empleando el método de coagulación –floculación.
- Incentivar a los estudiantes de la universidad Nacional del Altiplano que puedan desarrollar una investigación utilizando otros métodos de tratamiento de aguas para remover el metal pesado plomo.
- Promover e incentivar la utilización del proceso de tratamiento de coagulación – floculación de metales pesados y su utilización en la cuenca del río Suches.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agouborde, L. (2008). *Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales*. Chile: Universidad de la frontera.
- Ambiente, C. P. (2004). *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano - Plantas de filtración rápida -Manual/: Teoría*. Lima.
- Apaza, D. W. (2015). *Remoción de metales plomo (Pb) y zinc (Zn) de las aguas del río T'toro Q'ocha por precipitación alcalina en la ciudad de Juliaca*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua. (33 ed.)*. Colombia: Escuela Colombiana de ingeniería. 128 p.
- Azañero, A., Ñunez, P. A., Figueroa i, A., Leon Delgado, E., Fernandez Salinas, S., Orihuela Salazar, R., & otros, y. (2002). Flotación de minerales oxidados. *SciELO : Revistas peruanas*, 5 (10), 1-6.
- Brown, T., Lemay, E., Bursten, B., & Murphy, C. (2009). *Química la Ciencia central*. Mexico: (11va ed.).
- Cabrera, D. Y. (2018). *Evaluación de la capacidad de biosorción de plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallo de rosas) como adsorbente*. Arequipa: Universidad nacional San Agustin.
- Callata, A. (2013). *Bioadsorción del ion Pb(II) en muestras del río suches (hito18), por biomasa muerta de pseudomonasaeruginosa*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.



- Cárdenas, Y. (2000). *Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico*. . SEDAPAL.
- Castelar, G., & Garcia, A. (2011). *Remoción de Pb (II) en dilucion acuosa sobre carbon activado en polvo: Estudio por lote*. Universidad Autonoma del Caribe.
- Chedoba, J., Menéndez, C., & Pérez, J. (1996). *Fundamentos teóricos de algunos procesos para la purificación en aguas residuales*.
- Cosme, O. L., & Zevallos, E. A. (2017). *Influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo de una solución acuosa*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú Huancayo.
- Cueva, H. J. (2014). *Diseño de experimentos en la remoción de metales pesados en aguas residuales de la industria minera por procesos de coagulación con sulfato ferroso*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Dionisio, E. (2012). *Aprovechamiento de residuos vegetales para la eliminación de cobre presente en medios acuosos mediante biosorción*. Granada-España. : Universidad de Granada.
- Eaton. (1994). Sorption of Pb (II), Ni (II), Cu (II) and Cd (II) from aqueous solution by olive stone waste. . En *Separation and purification technology*. (págs. 132-140.).
- Everett, G. (1971). *The trout of Lake Titicaca and the fisheries of Lake Titicaca*. Report to the Government of the Republic of Peru.
- FAO. (2010). Estudio sobre riego y drenaje. En FAO, *Estudio sobre riego y drenaje* (págs. pags: 78-91.). Segunda Edición. Vol 1 Gudaflech.
- Fernández, A., García, P., García, R., & Dorado, M. (s.f.). *Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Cap. 5. Buenos Aires.



- Fontanills, L. (1998). *Una tecnología apropiada para la clarificación de aguas de consumo humano en poblaciones periurbanas y rurales.*
- Frank, N., Kemmer, J., & McCallion, M. (1992). *Manual de agua: Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*". Mexico: Editorial McGraw-Hill.
- Higueras, & Oyarzun. (2007). Higueras y Oyarzun, (2007). Removal of copper ions from aqueous solutions by dried sunflower leaves. En Higueras, & Oyarzun, *Chemical Engineering and Processing*. Volumen 46.
- Jan, S. (1990). *Effectiveness of traditional flocculants as primary coagulants and.*
- Laura, V. E. (2018). *estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río chili conteniendo as, pb y cr tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina.* Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Márquez, E. (1994). Uso de floculantes nacionales en la potabilización de aguas superficiales. *Revista ingeniería hidráulica*, Vol.XV, No.2.
- Mejía, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* , 77-99.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización.* México: Mc Graw Hill.
- Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R., & Jurado, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17, 95-104,.



- Mohan, D., & Pittman, C. (2007). *Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents*.
- Monroy, R. Y. (2019). *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)*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- morales, & Mallea. (2002). *Determinación de los niveles de contaminación por Mercurio en la especie Salmo Gardnerie Irideus y el cuerpo de agua de la laguna Suches, adyacente al lago Titicaca*. La Paz-Bolivia: Universidad Mayor de San Andres.
- Murillo, D. (2011). *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira escuela de tecnologías química industrial.
- OMS. (2010). *Plomo salud y Ambiente*. Uruguay.
- OMS. (2019). *Intoxicación por plomo y salud: Datos y cifras*.
- Orta, B. C. (2015). *Adsorción de plomo (II) EN UN ADSORBENTE IRRIDIADO CON RAYOS GAMMA*. Mexico: Facultad de Química.
- PAL, P. A. (1988). *Caracterización de los sistemas de producción de comunidades alpaqueras :Sondeo de las comunidades del distrito de Cojata*. Informe técnico N°3.
- Pérez, J. (1986). *Manual de Potabilización del agua*. Colombia-medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Pinmated. (2007). *Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados mediante carbones activados obtenidos de un precursor renovable”*.



- Pradilla, F. (1994). *Clarificación de aguas*. Colombia : Documento técnico. Química Nalco de Colombia S.A, Barranquilla.
- Restrepo, H. A. (2009). “*Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable*”. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Restrepo, O. (2009). *Sistemas simplificados de floculación*. En ACODAL, Seminario Internacional sobre Tecnología Simplificada para Potabilización del Agua. Cali.
- Rodríguez, C. (1995). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santafé de Bogotá.
- Rojas, M. (2015). *Contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro*.
- Romero, J. (2002). *Calidad del agua edición 18*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2009). *Calidad del agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, R. (1996). *Acuiquímica*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rosas, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Sagasta. (2012). *Water quality treatment. A Handbook of public water supplies*. 3er edition, Cap. 6.J.
- San martin, D. (2015). *El daño Ambiental* . Lima: Publicaciones Grijley.
- Tapia, L. (2017). *Tapia Callata, Lidia Rut (2017)*. “*Evaluación de Arsénico con Chacko (Hidralgirita) en Aguas Subterráneas Contaminadas del Distrito de Taraco –*



Puno". *Evaluación de Arsénico con Chacko (Hidralgirita) en Aguas Subterráneas Contaminadas del Distrito de Tarac*. Puno: UNA- Facultad de Ingeniería Química.

Tennor. (2010). *Técnicas de Adsorción de Metales Pesados*.

Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua Tomo I*. Colombia: McGraw.

Valencia, J., & Castellar, G. (2013). Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo (II) en disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada. *Revista facultad de ingeniería universidad antioquia*, 66.

Villanueva, R. (1993). *Exposición mantenida a bajas dosis de plomo, un modelo experimental*. España: Madrid Universidad de Complutense.

W. Richardson, P. (1995). *Adsorption of copper on quartz*. Massachusetts.

Weast, R. C. (1984). *Weast, Robert C., Melvin J. Astle, and William H. Beyer. (1984). CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical .*



ANEXOS

ANEXO A1

TABLA CORRESPONDIENTES A LOS CALCULOS DE LA METODOLOGIA DE INVESTIGACION

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de rendimiento de plomo recuperado de las aguas del río Suches, el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\% \text{ RENDIMIENTO} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Dónde:

%R = Rendimiento

W_1 = Peso inicial de Pb

W_2 = Peso de Pb recuperado

$$\% = \frac{0,1235 - 0,009360}{0,1235} \times 100 = 92,4210$$

$$\% = \frac{0,1235 - 0,009378}{0,1235} \times 100 = 92,4061$$

$$\% = \frac{0,1235 - 0,009359}{0,1235} \times 100 = 92,4213$$

$$\% = \frac{0,1235 - 0,009378}{0,1235} \times 100 = 92,4063$$

$$\% = \frac{0,1235 - 0,009341}{0,1235} \times 100 = 92,4360$$

$$\% = \frac{0,1235 - 0,009372}{0,1235} \times 100 = 92,4113$$

$$\% = \frac{0,1235 - 0,009341}{0,1235} \times 100 = \mathbf{92,4363}$$

$$\% = \frac{0,1235 - 0,009372}{0,1235} \times 100 = 92,4113$$

ANEXO A2

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

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	
FÍSICOS- QUÍMICOS				
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	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	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 ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (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	$\Delta 3$	$\Delta 3$	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02



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	
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C8 - C40)	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	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
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	**
BTEX				
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	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
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	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas 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	<5x106	<5x106

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación



Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
Contacto primario	Contacto secundario		
FÍSICOS- QUÍMICOS			
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 (DBO5)	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 (NO3--N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO2--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	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
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	Otras actividades	
FÍSICOS- QUÍMICOS					
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 (DBO5)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ -) (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 Suspendidos 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
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	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	0,0031	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
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			



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		
FÍSICOS- QUÍMICOS				
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	(μ S/cm)	2 500	5 000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	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 (NO3--N) + Nitritos (NO2--N)	mg/L	100	100	
Nitritos (NO2--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	$^{\circ}$ C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5	5	
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	
Bario	mg/L	0,7	**	
Berilio	mg/L	0,1	0,1	
Boro	mg/L	1	5	
Cadmio	mg/L	0,01	0,05	
Cobre	mg/L	0,2	0,5	
Cobalto	mg/L	0,05	1	
Cromo Total	mg/L	0,1	1	
Hierro	mg/L	5	**	
Litio	mg/L	2,5	2,5	
Magnesio	mg/L	**	250	
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	0,01	
Níquel	mg/L	0,2	1	
Plomo	mg/L	0,05	0,05	
Selenio	mg/L	0,02	0,05	
Zinc	mg/L	2	24	
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	μ g/L	0,04	0,045	
PLAGUICIDAS				
Paratión				
Paratión	μ g/L	35	35	
Organoclorados				
Aldrín	μ g/L	0,004	0,7	
Clordano	μ g/L	0,006	7	
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	μ g/L	0,001	30	
Dieldrín	μ g/L	0,5	0,5	
Endosulfán	μ g/L	0,01	0,01	
Endrin	μ g/L	0,004	0,2	
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	μ g/L	0,01	0,03	
Lindano	μ g/L	4	4	
Carbamato				
Aldicarb	μ g/L	1	11	
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**



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		
FÍSICOS- QUÍMICOS							
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	(μ S/cm)		1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	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 (NO3-) (c)	mg/L		13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH3)	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	$^{\circ}$ C		$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
INORGÁNICOS							
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
ORGÁNICOS							
Compuestos Orgánicos Volátiles							
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
BTEX							
Benceno	mg/L		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos							
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
Bifenilos Policlorados							
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L		0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS							
Organofosforados							
Malatión	mg/L		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L		0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados							
Aldrín	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
Dieldrín	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
Heptacloro Epóxido	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		
Lindano	mg/L		0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato							
Aldicarb	mg/L		0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml		1 000	2 000	2 000	1 000	2 000



ANEXO A3

Límites máximos permisibles Ley N° 29338

ANEXO III		
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS		
Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015



ANEXO A₄

Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0-25,0) % y de materia orgánica entre (0 - 10) %.

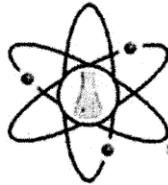
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo Permisible
Arsénico (total)	As	mg/l	0.035
Bario	Ba	mg/l	0.338
Cadmio	Cd	mg/l	0.32
Cianuro (total)	CN-	mg/l	7.53
Cobre	Cu	mg/l	0.045
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,00018
Níquel	Ni	mg/l	0.045
Plomo	Pb	mg/l	0.045
Zinc	Zn	mg/l	0.433

Fuente: Reglamento de estándares de calidad del agua para consumo humano 2010.



ANEXO A₅

Certificado de análisis de agua de la cuenca del río Suches



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

RH-M26-448

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. MICAELA SUCSO NOA**
 ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra
 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA
 DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA : Muestra Río Suches
 CANTIDAD DE MUESTRAS : 01
 UBICACIÓN : Hito 18
 SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Plomo (Pb)
 MOTIVO : Ejecución del Proyecto de tesis denominado "Recuperación de Plomo por Coagulación Floculación en la Cuenca del río Suches"
 RECEPCIÓN DE MUESTRAS : Botella de vidrio, debidamente conservado
 FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO : 30/05/2019 al 05/06/2019
DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Código de Cliente	Elemento	Lectura mg/L
1	RH-M31-489	Muestra inicial	Pb	0,1235

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

MÉTODOS DE REFERENCIA

- * Determinación de Plomo (Pb) en muestras de agua – Método Absorción Atómica

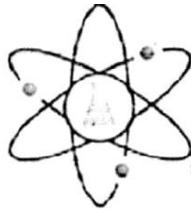


[Firma]
 Ing. FISCAL...
 GERENTE DE OPERACIONES



ANEXO A₆

Certificado de análisis de muestras tratadas de agua de la cuenca de río Suches



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

RH-M26-456

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. MICAELA SUCSO NOA**
 ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra
 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA
 DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA : Muestra Río Suches
 CANTIDAD DE MUESTRAS : 08
 UBICACIÓN : Hito 18
 SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Plomo (Pb)
 MOTIVO : Ejecución del Proyecto de tesis denominado "Recuperación de Plomo por Coagulación Floculación en la Cuenca del río Suches"
 RECEPCIÓN DE MUESTRAS : Botella de vidrio, debidamente conservado
 FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO : 10/06/2019 al 17/06/2019

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

Nº	Código del cliente	Elemento	Lectura mg/L
1	Muestra final	Pb	0,009360
2	Muestra final	Pb	0,009378
3	Muestra final	Pb	0,009359
4	Muestra final	Pb	0,009378
5	Muestra final	Pb	0,009341
6	Muestra final	Pb	0,009372
7	Muestra final	Pb	0,009341
8	Muestra final	Pb	0,009372

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

MÉTODOS DE REFERENCIA

- * Determinación de Plomo (Pb) en muestras de agua – Método Absorción Atómica



Fidel Huacupara Luque
CIP 167755
GERENTE DE OPERACIONES

ANEXO A₇

FOTOGRAFÍAS DE MUESTREO Y PRUEBAS EXPERIMENTALES



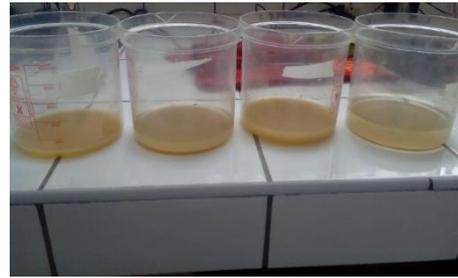
Tomando la muestra agua de la cuenca del río Suches para posterior análisis de laboratorio.



Pesado de la dosis de coagulante y floculante para posteriormente agregarlos.



Proceso de coagulación con sulfato de aluminio.



Medición de pH y el proceso de floculación.



Proceso de sedimentación.



Proceso de filtración.



Proceso después de la filtración muestra (Agua) tratada para posterior análisis final.