

I- REMOCION DE PLOMO Y SU CINETICA DE ADSORCION, POR EL METODO DE PRECIPITACION ALCALINA DE LAS AGUAS DEL RIO COATA

II. Resumen del Proyecto de Tesis

El recurso hídrico en la mayoría de los departamentos del Perú, es muy limitado, tal es el caso del departamento de Puno, que en épocas pasadas tuvo grandes problemas por efectos de la sequía, donde la población específicamente rural, sufre los estragos de la escasez del recurso hídrico, razón por la cual el objetivo del presente trabajo de investigación es determinar la remoción de plomo y su cinética de adsorción de las aguas residuales del río Coata con el método de precipitación alcalina. El procedimiento será el siguiente. Se determinará los parámetros del proceso de remoción de plomo en el río Coata, ajustando el pH para provocar un desplazamiento del equilibrio químico que no favorezca la solubilidad. El pH óptimo para la precipitación que estará comprendido entre 3.5 y 13. La coagulación, mediante la cual los elementos precipitados se unen formando coágulos favorecen su decantación, utilizando como coagulante el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y como floculante el hidróxido de sodio NaOH, por un tiempo de 15 a 20 minutos a velocidad de 20 a 120 rpm, utilizando el proceso de Jar-Test. La tecnología propuesta, será el proceso de precipitación alcalina. Las variables de trabajo más influentes en el proceso de adsorción de plomo será el pH, velocidad de agitación y el tiempo de mezcla. Los resultados que se esperan será adsorber el plomo presente en las aguas residuales del río Coata. En la metodología estadística se utilizará el diseño experimental Box-Behnken para tres variables, la aplicación del diseño experimental al proceso de adsorción de plomo permitirá optimizar las variables en estudio mediante superficie de respuesta y deberá tener R^2 igual a un 95 %. Se determinará el modelo matemático por experimentación, cuya validez se demostrará por los valores hallados de las variables de trabajo, utilizando el diseño factorial y el programa Statgraphics Centurión XVI.

Palabras claves (Keywords)

Adsorción, Coata, cinética, modelo matemático, plomo.

III. Justificación del proyecto

4.1. Justificación ambiental

El río Coata está contaminada por los 250 litros por segundo de aguas de desagüe y residuos sólidos que recibe de la ciudad de Juliaca. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) señaló que las aguas del río supera los límites máximos permisibles, por lo que se requiere una adecuada conservación y la utilización eficiente de los cuerpos de agua dulce para el desarrollo sostenible. Esto es necesario porque se ha acelerado deterioro de la calidad de agua dentro de la cuenca del río, debido al aumento interno a las descargas de efluentes hacia el río Coata.

En el aspecto ambiental el presente trabajo de investigación proporcionará la información de las concentraciones de plomo encontrado en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Coata, permitiendo entender el grado de contaminación de este afluente principal de lago Titicaca. Los resultados obtenidos, permitirán disponer de información necesaria para la toma de conciencia para el desecho de los residuos sólidos y el tratamiento de las aguas residuales antes del ingreso al río

4.2. Justificación social

En cumplimiento de las rigurosas normas ambientales, la utilización del método de precipitación alcalina en la remoción de plomo y su cinética de adsorción de las aguas residuales del río Coata disminuirá notablemente la contaminación ambiental en comparación con otros procesos como adsorción con carbón activado, biosorbente, evitando de esa manera contaminar las aguas donde desembocan las aguas residuales.

4.3. Justificación científica y/o tecnológica

El plomo es un elemento ampliamente distribuido en muchas actividades del ser humano a través de diversas tecnologías que se usan a diario siendo estos tóxicos. La exposición prolongada a este elemento, principalmente a través del consumo de agua contaminada o comida preparada con ésta y cultivos alimentarios regados con agua rica en plomo puede causar intoxicación crónica. Los efectos más característicos son la aparición de lesiones cutáneas (cambios de pigmentación, lesiones cutáneas, durezas, callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies), que pueden aparecer con una exposición mínima de 5 años, que pueden derivar en cáncer de piel, de vejiga y de pulmón y saturnismo. Es importante destacar que el plomo representa una amenaza importante para la salud pública cuando derivan a las aguas de los ríos, lagos, mares y aguas subterráneas a los cuales contaminan.

IV. Antecedentes del proyecto

- Castelar & García, (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 -

1000mg/dm³) 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 mg/g de CA , para una dosis de 5g/dm³ 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 (hidralgirita) 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 (2013), 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 Ca(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 cm^3/min) y la concentración inicial (9,8 y 24,9 mg/dm^3), 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/C_0 entre 0,05 y 0,5 y el modelo de Wolborska para $C/C_0 < 0,2$ 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.

V. Planteamiento del problema general

En todo ecosistema acuático, la contaminación con metales pesados puede ser resultado de la deposición atmosférica, meteorización geológica o a través de la descarga de desechos. Metales como el Cu, Fe, Mn, Ni y Zn son esenciales como micronutrientes para los procesos vitales en plantas y microorganismos, mientras que muchos otros metales como Cd, Cr y Pb no tienen actividad fisiológica conocida, pero han demostrado ser perjudicial más allá de ciertos límites (Marschner 1995).

Los metales pesados pueden clasificarse en dos grupos; primero elementos como Cu, Zn y Cr, segundo constituido por metales que no tienen un rol biológico conocido, pero si una clara toxicidad (As, Cd, Hg y Pb), que tienen origen natural, domestico, antropogénico, industrial, agropecuario, minero o de acuerdo a determinantes geológico mineros. Los efectos toxicológicos constituyen un serio riesgo para la salud humana y ecología (Cornejo & Pacheco, 2014).

La salud de la población es afectada ya que los metales pesados pueden ingresar a su

organismo por distintas vías, es por ello nuestro objetivo es remover el plomo en las aguas superficiales en la parte baja de la cuenca de río Coata (Juliaca–desembocadura del río) según el estándar de calidad ambiental para agua.

El presente estudio tiene por objetivo determinar la cinética de recuperación y su aplicación en la remoción del ion plomo (II) presente en las aguas residuales del río Coata.

¿En qué medida el método de precipitación alcalina determinara la eficacia de remoción del plomo de las aguas del río Coata?

VI. Planteamiento de problemas específicos

- ¿En qué medida se caracterizará la concentración de plomo proveniente de las aguas del río Coata?
- ¿En qué medida se determinará los parámetros óptimos de pH, velocidad de mezclado, tiempo de activación del proceso de remoción de plomo del río Coata por el método de precipitación alcalina?
- ¿Se podrá definir la tecnología propuesta, dando a conocer el modelo matemático del proceso para la remoción de plomo y su cinética de adsorción?

VII. Hipótesis del trabajo

Conociendo el método de precipitación alcalina se determina la eficacia de remoción del plomo de las aguas del río Coata y su cinética de adsorción.

VIII. Hipótesis específicas

- Se caracterizará la concentración de plomo proveniente de las aguas del río Coata.
- Conociendo el proceso de precipitación alcalina se determina los parámetros del proceso de remoción de plomo del río Coata.
- Con la tecnología propuesta, se determina el modelo matemático del proceso para la remoción de **plomo** y su cinética de adsorción.

IX. Objetivo general

Determinar la eficacia de remoción de plomo y su cinética de adsorción, por precipitación alcalina de las aguas del río Coata

X. Objetivos específicos

- Determinar la presencia y las concentraciones de plomo en las aguas del río Coata.
- Determinar los parámetros óptimos de pH, temperatura y velocidad del proceso del proceso de remoción de plomo por precipitación alcalina

- Determinar el modelo matemático para el proceso de recuperación de plomo y su cinética de adsorción.

XI. Metodología de investigación

El presente trabajo de investigación se desarrollará de acuerdo a los objetivos específicos planteados que son:

- **11.1.** Determinar la presencia y las concentraciones de plomo en las aguas del río Coata.

El proceso de remoción de plomo de las aguas residuales del río Coata será el siguiente: Se preparan ocho vasos de precipitados de 500 cm³ de capacidad, introduciendo en cada uno 200 cm³ del agua a tratar. El tratamiento consiste en la adición del coagulante, Al³⁺ en forma de Al₂(SO₄)₃, mililitro a mililitro hasta llegar a una concentración de 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 ppm (mg/L), según la siguiente tabla:

Tabla 1. Tratamiento de adición de coagulante

Nº de Pruebas	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	pH
1	30	8
2	40	8
3	50	8
4	60	8
5	70	8
6	80	8
7	90	8
8	100	8

Luego se agitará de forma enérgica a 150 rpm durante 3 minutos y a continuación de una forma más lenta a 25 rpm durante 12 minutos. Transcurrido este tiempo se levantará el agitador, teniendo cuidado de no romper flóculos, y se deja decantar 20 minutos, luego se toma una muestra de cada vaso para medir su absorbancia. A continuación se procederá a un ajuste en torno a diferentes pH (3.5, 5, 6, 7.2, 8.3, 9, 10, 11) para la floculación con NaOH a una concentración de 2 mg/L, con una agitación suave (25 rpm) por 12 minutos con objeto de formar los flóculos que luego sedimentan, una vez que se forman los precipitados, se decantará y filtrará el contenido-

11.2. Tecnología propuesta, dando a conocer los parámetros óptimos de pH, tiempo de adsorción y tiempo de mezclado para la remoción de plomo

Para determinar la tecnología propuesta, los parámetros que se utilizarán serán la velocidad de agitación, tiempo de mezcla y pH como variables independientes y como variable dependiente será la remoción de plomo en porcentaje (Y).

11.3. Modelo matemático para el proceso de remoción del plomo y su cinética de adsorción

El diseño factorial de experimentos es una técnica estadística que permite planificar eficientemente la experimentación de modo que con un número mínimo de ensayos se logre determinar la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas y el efecto de sus interacciones obteniéndose el modelo matemático empírico, que constituye la base para un proceso posterior de optimización. Para el desarrollo matemático experimental se utilizará el programa Statgraphics Centurión XVI.

- **Modelo matemático para el proceso de recuperación de plomo por el proceso de precipitación alcalina.**

Se basa en el diseño factorial de Kafarov, es una técnica de análisis estadístico que nos permitirá planificar y estimar adecuadamente los factores investigados, se utilizará el programa estadístico Statgraphics Centurión XVI.

El diseño factorial de experimentos constituye un caso especial de regresión múltiple, en el que la obtención de la inversa de la matriz de regresión es sencilla, siempre y cuando los experimentos cumplan la condición de ortogonalidad. El diseño factorial se basa en generar datos ortogonales.

$$N = 2^k$$

Donde:

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:

$$\text{Número de experimentos} = N^k = 2^3 = 8 \text{ experimentos}$$

Cuya resolución será la siguiente:

$$Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3+B_4X_1^2+B_5X_2^2+B_6X_3^2+B_7X_1X_2+B_8X_1X_3+B_9X_2X_3$$

Donde:

Y = Variable respuesta rendimiento

X₁, X₂ y X₃ = Variables codificadas de entrada: pH, velocidad de mezclado y tiempo de retención

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

Primero hallaremos los valores de X₁, X₂ y X₃ en función a las variables de entrada del proceso y luego los valores de b₀, b₁, b₂, b₃,...b₇ (estimadores de los coeficientes de regresión) en función a la variable respuesta Rendimiento (Y).

Tabla 2. Identificación de variables y niveles de operación

Variab	Nivel	Nivel	Punto
	-1	+1	Central
<ul style="list-style-type: none"> ▪ X₁: pH ▪ X₂: Velocidad de mezclado ▪ X₃: Tiempo 			

Para el diseño factorial de dos niveles y tres factores se realizan ocho pruebas. Si se agrega una variable ficticia X₀ en la que todos sus elementos son +1, resulta la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores a ser colocados en la investigación

Nº DE EXPERIMENTOS	X₀	X₁	X₂	X₃	RESPUESTA (Y)
1	+1	-1	-1	-1	Y ₁
2	+1	+1	-1	-1	Y ₂
3	+1	-1	+1	-1	Y ₃
4	+1	+1	+1	-1	Y ₄
5	+1	-1	-1	+1	Y ₅
6	+1	+1	-1	+1	Y ₆
7	+1	-1	+1	+1	Y ₇
8	+1	+1	+1	+1	Y ₈

XII. Referencias

- Apaza D. (2013). Remoción de metales cobre (Cu) y zinc (Zn) de las aguas del río T'oro Q'ocha por precipitación alcalina en la ciudad de Juliaca. (*Tesis de pregrado*). UNA, Puno.
- Cabrera, D. (2018). Evaluación de la capacidad de biosorción de plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallos de rosas) como adsorbente. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Callata. (2013). Bioadsorción del ion Pb (II) en muestras del río Suches (hito 18), por biomasa muerta de *Pseudomonas aeruginosa*. (*Tesis de pregrado*). UNA, Puno.
- Castelar y García, A. (2011). Remoción de Pb (II) en dilución acuosa sobre carbón activado en polvo. (*Tesis de pregrado*). Universidad Autónoma del Caribe, Caribe.
- Cosme y Zevallos E. (2017). Influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo de una solución acuosa. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional del Centro, Huancayo.
- Cueva H. (2014). Diseño de experimentos en la remoción de metales pesados en aguas residuales de la industria minera por procesos de coagulación con sulfato ferroso. (*Tesis de pregrado*). UNI, Lima.
- Cornejo y Pacheco M. (2017). Influencia del tipo y concentración de coagulante en la remoción de plomo de una solución acuosa. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional del Centro, Huancayo.
- Laura 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. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional San Agustín, Arequipa.
- Marschner H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. *Trabajo de investigación*. Academic Press, Londres.
- Monroy 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 (hidrargírica) y cal (CaO). (*Tesis de pregrado*). UNA, Puno.
- Orta C. (2015). Adsorción de plomo (II) en un adsorbente irradiado con rayos gamma. (*Tesis de pregrado*). Facultad de Química, México.
- Restrepo O. (2009). Sistemas simplificados de floculación. En ACODAL, Seminario Internacional sobre Tecnología Simplificada para Potabilización del Agua. *Trabajo de*

investigación. ACODAL, Cali.

Valencia y Catelar G. (2013). Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo (II) en disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada. *TRabajo de investigación*. Universidad de Antioquia, Antioquia.

XIII. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto

Con el presente trabajo de investigación se logrará la remoción del plomo y su cinética de adsorción de las aguas residuales del río Coata del Distrito de Coata, por el método de precipitación alcalina, siendo las variables de operación el pH, velocidad de agitación y el tiempo de mezcla, el método propuesto es una tecnología limpia y barata.

XIV. Recursos necesarios

14.1. Material de laboratorio

- Matraces aforados de 25 - 50 - 100 - 500 -1000 mL.
- Vasos precipitado 100 mL.
- Baguetas
- Embudos de vidrio
- Matraces Erlenmeyer de 50 MI
- Papel filtro
- Pipetas parciales y totales de 1 - 5 - 10 - 20 ml

14.2. Reactivos

- Muestra de agua residual con plomo
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
- NaOH (1.0 N)
- Agua destilada y bidestilada.

14.3. Equipos

- Balanza analítica (METTLER TOLEDO).

- Agitador magnético “Jar-Test”, Marca CAT M6.1 (0-1600) rpm
- Espectrofotómetro de adsorción atómica PERKIN ELMER FTIR 1600
- pH-metro (ORION tipo 42 A)

XV. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Investigador y técnico de apoyo	Personas	750,00	2	1500,00
Reactivos	gramos	30,00	50	1500,00
Materiales de escritorio	Varios	20	4	80,00
Materiales de impresión	Varios	30	6	180,00
Movilidad	Varios	40	6	240,00
Análisis (aguas residuales) y análisis por espectroscopia	Varios			1600,00
Imprevistos	Varios			500,00
TOTAL				5600,00

XVI. Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)

El desarrollo del estudio de investigación se realizará en el Distrito de Coata (rio Coata), ámbito del Departamento de Puno y en los laboratorios de química de la Facultad de Ingeniería Química y de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química UNA

– Puno

Ubicación

Provincia: Puno

Departamento: Puno

Dirección: Av. Sesquicentenario N° 1150

XVII. Cronograma de actividades

Actividad	Trimestres 2021-2022											
	Julio-Setiembre				Oct-Dic				Enero-abril			
Revisión Bibliográfica	■											
Información técnica			■									
Revisión de Estrategia Experimental				■								

Ordenamiento de Resultados												
Ejecución del Proyecto												
Redactar el informe Final												
Sustentación de la tesis												

1
2
3

Cuadro de matriz de consistencia

Interrogantes específicas	Hipótesis específica	Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Métodos	Prueba estadística
<p>➤ ¿En qué medida se caracterizará la concentración de plomo proveniente de las aguas del río Coata?</p> <p>➤ ¿En qué medida se determinará los parámetros óptimos de pH, velocidad de mezclado, tiempo de activación del proceso de remoción de plomo del río Coata por el método de precipitación alcalina?</p> <p>➤ ¿Se podrá definir la tecnología propuesta, dando a conocer el modelo matemático del proceso para la remoción de plomo y su cinética de adsorción?</p>	<p>➤ Se caracterizará la concentración de plomo proveniente de las aguas del río Coata.</p> <p>➤ Conociendo el proceso de precipitación alcalina se determina los parámetros del proceso de remoción de plomo del río Coata.</p> <p>➤ Con la tecnología propuesta, dando a conocer los parámetros óptimos de pH, velocidad de mezclado, tiempo de activación se determina el modelo matemático del proceso para la remoción de plomo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la presencia y la concentración de plomo en las aguas del río Coata. • Determinar los parámetros de pH, temperatura y velocidad del proceso de remoción de plomo por precipitación alcalina. • Determinar el modelo matemático para el proceso de recuperación de plomo y su cinética de adsorción. 	<p>Vd. Cantidad de Pb</p> <p>Vi. pH</p> <p>Velocidad de mezclado</p> <p>Tiempo</p>	<p>gr</p> <p>Escalar</p> <p>Rpm</p> <p>min</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Para alcanzar este primer objetivo es determinar el proceso de remoción de plomo de las aguas del río Coata por precipitación alcalina • Determinar los parámetros óptimos de pH, velocidad de mezclado y tiempo de agitación. • Determinar el modelo matemático para el proceso de recuperación de plomo. 	<p>Los indicadores estadísticos mínimo, máximo y promedio y coeficiente de variación, se utilizarán mediante el programa Statgraphics Centurión XVI.</p>

4
5
6
7
8