

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**ADSORCIÓN DE Pb (II) MEDIANTE ASERRÍN XANTADO
DE LAS AGUAS DEL RÍO JATUN AYLLU OCUVIRI-PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDGAR HENRY AYQUI SUCTO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PROMOCIÓN 2016 - II

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

ADSORCIÓN DE Pb (II) MEDIANTE ASERRÍN XANTADO DE LAS AGUAS DEL
RÍO JATUN AYLLU OCUVIRI-PUNO

PRESENTADA POR:

Bach. EDGAR HENRY AYQUI SUCTO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO



APROBADO POR:

PRESIDENTE:


Mg. Higinio Alberto Zuñiga Sánchez

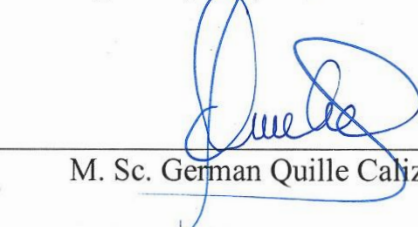
PRIMER MIEMBRO:


Dr. Teófilo Donaires Flores

SEGUNDO MIEMBRO:


Ing. Percy Eloy Mamani Luque

DIRECTOR / ASESOR:


M. Sc. German Quille Calizaya

Área : Tecnología ambiental

Tema : Tratamiento de aguas

Línea : Tecnología ambiental y recursos naturales

Fecha de sustentación, 01 de Octubre del 2019

DEDICATORIA

*Con mucho cariño a mis padres;
Patricio y Santusa, a mi hermana
Gladys, a mi musa inspiradora Sayda
Lizbeth por su gran apoyo y amor
incondicional y principalmente a Dios al
cual le debo todo lo que tengo.*

*A mi mamita en especial por su gran
amor, paciencia y sacrificio que me dio
valor para lograr mis metas. A mis
amigos con los Cuales compartí muchas
alegrías Sirviéndome como un ejemplo
para seguir adelante, con perseverancia.*

EDGAR HENRY AYQUI SUCTO

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero darle las gracias a JEHOVÁ Dios pues de Él procede toda dádiva y don perfecto, gracias por darme la vida, el conocimiento y la oportunidad de lograr y hacer realidad este anhelado sueño.

Quiero agradecerles a mis padres por su apoyo incondicional, por confiar en mí y nunca dudar de mis capacidades.

También quiero darles las gracias a todos aquellos familiares que me apoyaron generosamente para hacer realidad este sueño, realmente sin ellos esta meta, este logro no hubiera sido posible.

Gracias a todos aquellos docentes que estuvieron dispuestos a compartir su conocimiento, su tiempo y energías para enseñarme todo lo que hoy día se, en apoyarme tanto intelectualmente en la realización de este proyecto y por estar presente en los momentos que más los necesitaba.

Finalmente quiero darles las gracias a todas aquellas personas que confiaron en mí, que me dieron su apoyo, así como las fuerzas necesarias para salir adelante y hacer realidad el cumplimiento de esta meta.

EDGAR HENRY AYQUI SUCTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
LISTA DE ACRÓNIMOS	11
RESÚMEN	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1 ANTECEDENTES	16
2.2 OBJETIVOS	20
2.2.1 Objetivo general	20
2.2.2 Objetivos específicos	20
2.3 REFERENCIAS TEÓRICAS	20
2.3.1 EL AGUA	20
2.3.1.1 Contaminación del agua	20
2.3.1.2 Contaminación del agua por metales pesados	21
2.3.1.2.1 Toxicidad y origen de los metales pesados	21
2.3.1.2.2 Legislación aplicable a los metales pesados	21
2.3.2 PLOMO	22
2.3.2.1 El plomo toxicidad y efectos sobre el ambiente	23
2.3.2.2 Principales industrias y procesos fuente de producción de plomo ...	24
2.3.2.3 Tratamientos convencionales de eliminación de metales pesados de efluentes acuosos industriales	25
2.3.2.4 Remoción de metales pesados	29
2.3.3 ADSORCIÓN	30
2.3.3.1 bioadsorción: una tecnología alternativa	30
2.3.3.2 Ensayos de biosorción de metales pesados en medio acuoso	32
2.3.3.3 Mecanismos implicados en la bioadsorción de metales pesados	36
2.3.3.4 Factores que afectan el proceso de biosorción	38
2.3.3.5 Aserrín como material adsorbente	40

2.3.3.5.1 Mecanismos de adsorción.....	41
2.3.3.5.2 Reacción de Xantación	42
2.3.3.6 Equilibrio de bioadsorción	43
2.3.3.7 Cinética de adsorción.....	43
2.3.3.7.1 Modelo cinético de primer orden de Lagergren	44
2.3.3.7.2 Modelo cinético de Pseudo segundo orden	45
2.3.3.7.3 Modelo de Elovich.....	46
2.3.3.7.4. Modelo de difusión intraparticular	47
2.3.3.8 Isotermas de adsorción	47
2.3.3.8.1. Modelo de Langmuir	48
2.3.3.8.2. Modelo de Freundlich.....	49
2.3.3.8.3. Modelo de Langmuir – Freundlich	50
2.4. HIPÓTESIS	51
2.4.1. Hipótesis general	51
2.4.2. Hipótesis específicos.....	51
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	51
3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	52
3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.3.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL	54
3.3.1.1. Diagrama de flujo del proceso de desarrollo experimental	54
3.3.1.2. Preparación del material adsorbente	55
3.3.1.3. Preparación de la muestra contaminada	55
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ASERRÍN (ADSORBENTE).....	60
4.3. PROCESO DE ADSORCIÓN	64
4.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN	67
4.4.1. Modelo cinético de primer orden de Lagergren	70
4.4.2. Modelo cinético de pseudo segundo orden	71
4.5. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN	73
4.5.1. Modelo Langmuir	75
4.6. DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO POR EXPERIMENTACIÓN Y ESTADÍSTICA	77
4.6.1 Diseño factorial 2^k con 3 réplicas en el punto central de diseño	77
4.7 DISEÑO FACTORIAL EXPERIMENTAL	78
V. CONCLUSIONES.....	87



VI. RECOMENDACIONES	89
VII. REFERENCIAS.....	90
ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Representación esquemática de los procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico.	30
Figura N° 2. Diagrama esquemático de los diferentes procesos para la preparación de biosorbentes usando biomásas naturales.....	34
Figura N° 3. Esquema general de los mecanismos del proceso de bioadsorción en columna de lecho fijo.....	37
Figura N° 4. Estructura química de la celulosa.	40
Figura N° 5. Mecanismo de adsorción propuesto: (a) intercambio iónico, (b) y (c) complejación.....	42
Figura N° 6. Reacción de xantación entre el disulfuro de carbono e hidróxido de sodio.	42
Figura N° 7. Clasificación de los modelos de isothermas aplicables a sistemas en fase líquida.	48
Figura N° 8. Localización del ámbito de estudio.	51
Figura N° 9. Adsorción de Pb^{2+} del agua con Aserrín Xantado.	58
Figura N° 10. Muestras de agua tratada y equipo de absorción atómica.....	59
Figura N° 11. Estructura del Espectro FTIR del Aserrín (sin modificar) y Aserrín Xantado (modificado).	61
Figura N° 12. Gráfico de comparación de resultados de los análisis con los límites máximos permisibles del ECA para el agua, Categoría 1, subcategoría A - A1 establecidos por el decreto supremo N° 004-2017-MINAM.....	63
Figura N° 13. Gráfico de la curva de calibración.	64
Figura N° 14. Gráfico del comportamiento de la capacidad de adsorción (mg/L) en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.	65
Figura N° 15. Gráfico del comportamiento de la capacidad de adsorción en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.	67
Figura N° 16. Gráfico del comportamiento de la concentración respecto al tiempo.....	68
Figura N° 17. Gráfico del comportamiento del % de adsorción del Pb^{2+} respecto al tiempo.	69
Figura N° 18. Gráfico del modelo cinético de primer orden de Lagergren (Linealizada).	71
Figura N° 19. Gráfico del modelo cinético de Pseudo segundo orden.....	72
Figura N° 20. Gráfico de la isoterma del Aserrín Xantado.	74

Figura N° 21. Gráfico de la isoterma de Langmuir del Aserrín Xantado.....	75
Figura N° 22. Gráfico de la isoterma de Freundlich del Aserrín Xantado.	76
Figura N° 23. Gráfica de parapeto. Variable respuesta Y	84
Figura N° 24. Grafica Superficie de Respuesta Estimada	85
Figura N° 25. Grafica de Efectos Principales para Adsorción de Pb^{2+}	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Tipos de biomasas naturales usadas para la preparación de biosorbentes.	33
Tabla N° 2. Métodos de modificación de biosorbentes en su estado natural para el mejoramiento de sus capacidades de biosorción.	35
Tabla N° 3. Ecuaciones de primer y pseudo-segundo orden.	46
Tabla N° 4. Constantes del proceso de adsorción del Pb^{2+}	56
Tabla N° 5. Evaluación del proceso de adsorción.	57
Tabla N° 6. Evaluación del tiempo de contacto del adsorbente con la muestra contaminada.	58
Tabla N° 7. Características físico químicas del agua a tratar.	62
Tabla N° 8. Curva de calibración para el análisis de Pb por espectroscopia de absorción atómica.	64
Tabla N° 9. Comportamiento de la capacidad de adsorción (mg/L) en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.	65
Tabla N° 10. Comportamiento de la capacidad de adsorción (%) en función a la masa del bioadsorbente y pH.	66
Tabla N° 11. Comportamiento de la concentración y el porcentaje de adsorción respecto al tiempo.	68
Tabla N° 12. Resultados del modelo cinético de primer orden de Lagergren.	70
Tabla N° 13. Resultados del modelo cinético de Pseudo segundo orden.	72
Tabla N° 14. Parámetros cinéticos del modelo de primer orden de Lagergren y Pseudo segundo orden.	73
Tabla N° 15. Datos de la isoterma del Aserrín Xantado.	74
Tabla N° 16. Parámetros de Langmuir y Freundlich.	77
Tabla N° 17. Variables naturales-datos del diseño experimental.	78
Tabla N° 18. Identificación de variables y niveles de operación.	79
Tabla N° 19. Matriz de diseño factorial $2^3 = 8$	80
Tabla N° 20. Coeficiente de regresión para Adsorción de plomo.	80
Tabla N° 21. Efectos estimados para Adsorción de plomo (%).	81
Tabla N° 22. Análisis de Varianza para Adsorción de plomo.	82
Tabla N° 23. Datos óptimos del diseño experimental.	83
Tabla N° 24. pH óptimos en la remoción de Pb(II) con distintos materiales activados mediante Xantación.	86

LISTA DE ACRÓNIMOS

A:	Aserrín
AX:	Aserrín Xantado
DAM:	Drenaje ácido de mina
FTIR:	Espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier
g :	gramo
mg:	miligramo
L:	litros
P.A:	para análisis
Pb²⁺:	Plomo
ppm:	partes por millón
pH:	Potencial de Hidrógeno
Ce (ppm):	concentración en el equilibrio
qe (mg g-1):	capacidad de adsorción en el equilibrio
qt (mg g-1):	capacidad de adsorción en el tiempo
t (min):	tiempo
K₁ (min-1):	constante de velocidad pseudo-primer orden.
K₂ (g mg-1 min-1):	constante de velocidad pseudo-segundo orden
h₀ (mg g-1 min-1):	velocidad de adsorción inicial
q_e (mg g-1):	capacidad de adsorción en el equilibrio
q_m (mg g-1):	capacidad máxima de adsorción
K_f (mg^{1/n} L^{1/n} g-1):	constante de Freundlich
n:	factor de heterogeneidad
b: (L/mg):	constante de Langmuir

RESÚMEN

Este trabajo presenta una alternativa para el tratamiento de aguas residuales urbanas, considerando como zona de estudio el río Jatun Ayllu en el Distrito de Ocuvi Province de Melgar Ayaviri, en este río existe contaminación por metales pesados principalmente por el metal plomo proveniente de los efluentes de la Minera Aruntani S.A.C. El objetivo general del estudio fue: Evaluar la capacidad de adsorción de Pb (II) mediante aserrín modificado, de las aguas del río Jatun Ayllu, Ocuvi Puno; y los objetivos específicos: Modificar químicamente el Aserrín a través de la reacción de Xantación, Determinar a través de la cinética e isothermas de adsorción la capacidad máxima de remoción del plomo con aserrín modificado, Determinar las condiciones de pH, tiempo de contacto y cantidad de masa de aserrín para el proceso de remoción óptima del ion metálico Pb (II); estudiando la cualidad de adsorción de metales pesados y así aplicarlo como una tecnología limpia para la descontaminación de aguas. La contaminación con plomo también puede producir anemia, aumento de la presión sanguínea, vómitos, anorexia, estreñimiento, pérdida del embarazo, nacimientos prematuros, bebés de menor tamaño. Los resultados experimentales de acuerdo a los objetivos planteados, dándonos como resultado que el Aserrín Xantado se comporta como un buen adsorbente de metales pesados, para lo cual se utilizó Ácido Clorhídrico 0,1 N para el lavado y Disulfuro de Carbono P.A e Hidróxido de Sodio 0,1 N (relación: 20 ml CS₂/100ml NaOH) para la activación química de 25 gramos de aserrín de tornillo. En el proceso de contacto, se evaluaron pH de 4,5; 6,5; 8,1 y dosis de 0,5 g, 1 g, y 1,5 g para un volumen de 50 mL, tiempo de residencia de 30 minutos y una velocidad de agitación de 60 RPM en cada prueba, obteniendo como buen resultado el de pH 4,5, dosis de 1,5 g; por lo que se midieron tiempos de 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120 minutos; alcanzando el porcentaje más alto de adsorción igual a 99,10 %. El modelo cinético al que se ajusta más, fue el de Pseudo segundo orden de Lagergren con un factor de correlación de R² igual 1; con el cual se determinó sus parámetros cinéticos. La capacidad máxima de adsorción se obtuvo a partir del diseño del modelo matemático de los datos experimentales reales y se calculó la concentración del soluto absorbido por unidad en peso de adsorbente requerido para la capacidad de mono capa en la superficie (Q_e) que es de 0,01669 mg de Pb / g de adsorbente obteniendo un coeficiente de correlación (r²) de 0,9989.

Palabras claves: Adsorción, Plomo, Aserrín Xantado, isothermas, cinética.

ABSTRACT

This research offers an alternative for urban wastewater treatment in the Jatun Ayllu River study area in the Ocuvi District of Melgar Ayaviri Province. This river presents heavy metal contamination mainly by lead which comes from the effluents from Aruntani mining company SAC. The general objective of this research was: To evaluate the adsorption capacity of Pb (II) by means of modified sawdust, from the waters of the Jatun Ayllu river, Ocuvi Puno; and the specific objectives: to chemically modify the Sawdust through a Xantation reaction, to determine through the kinetics and adsorption isotherms the maximum capacity of removal of lead with modified sawdust, to determine the conditions of pH, contact time and quantity of sawdust mass for the optimal removal process of the metallic ion Pb (II); studying the quality of adsorption of heavy metals and thus apply it as a clean technology for water decontamination. Lead pollution can also cause anemia, increased blood pressure, vomiting, anorexia, constipation, pregnancy loss, premature births, smaller newborn babies. The experimental results according to the objectives set are, Sawdust Xantado behaves as a good heavy metal adsorbent, for which 0.1 N Hydrochloric Acid was used for washing and PA Carbon Disodium and Sodium Hydroxide 0.1 N (ratio: 20 ml CS₂ / 100ml NaOH) for the chemical activation of 25 grams of sawdust. In the contact process, pH of 4.5 was evaluated; 6.5; 8.1 and doses of 0.5 g, 1 g, and 1.5 g for a volume of 50 mL, residence time of 30 minutes and a stirring speed of 60 RPM in each test, obtaining a good result of pH 4.5, 1.5 g dose; so times of 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120 minutes were measured; reaching the highest adsorption percentage equal to 99.10%. The kinetic model that fits most was that of Pseudo second order of Lagergren with a correlation factor of R² equal 1; with which its kinetic parameters were determined. The maximum adsorption capacity was obtained from the design of the mathematical model of the actual experimental data and the concentration of the absorbed solute per unit by weight of adsorbent required for the surface monolayer capacity (Q_e) was calculated, which is 0, 01669 mg of Pb / g of adsorbent obtaining a correlation coefficient (r²) of 0.9898.

Keywords: Adsorption, Lead, Sawdust Xantado, isotherms, kinetics.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua con metales pesados constituye un peligro tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Según la Organización Mundial de la Salud el plomo es uno de los diez grupos de productos químicos con mayores repercusiones en la salud del ser humano. De acuerdo con esta misma fuente, el envenenamiento por plomo causa unas 143.000 defunciones, lo cual representa un 0,6% de la carga mundial de morbilidad, así como unos 600.000 casos de discapacidad intelectual en los niños, cada año (OMS 2014). La contaminación con plomo también puede producir anemia, aumento de la presión sanguínea, vómitos, anorexia, estreñimiento, pérdida del embarazo, nacimientos prematuros, bebés de menor tamaño, alteración en la producción de espermatozoides, dolores en los músculos y en las articulaciones, así como dolores de estómago severos (ASTDR 2015, Díaz 2009, MedlinePlus, 2015).

Desafortunadamente la contaminación a estado aumentando debido a las minerías ilegales que son los principales responsables de la contaminación ambiental que, a través de sus diversas operaciones como lixiviación, acumulación de material en botaderos, drenaje ácido de mina (DAM), filtraciones de las presas de relave y pasivos ambientales. Por otro lado, las minerías, galvanoplastia, etc. son los responsables de la contaminación por la falta de fiscalización por parte del estado Peruano.

Elementos como el plomo y otros son característicos de zonas de minería ya sea legal o ilegal la cual al ser vertidas sin control o ningún tratamiento para su recuperación afectan de diversas formas: cambian la luminosidad de las aguas, alteran la temperatura, acidifican las aguas, con lo cual alteran el ciclo biológico y por ende el ecosistema, como es el caso de la Minera Aruntani S.A.C que debido a su actividad a generado un problema muy grave de contaminación en el rio de Jatun Ayllu ya que OEFA y el ANA realizaron los análisis respectivos y dieron resultados de presencia de metales pesados en dicho rio como fue el plomo. A fin de remover los metales pesados de las aguas residuales se han utilizado diversos métodos convencionales, sin embargo, no son económicos ni eficaces cuando la concentración de los metales en solución es igual o inferior a 100 ppm. La biosorción se ha postulado como una tecnología prometedor a este respecto, ya que tiene el potencial para remover metales peligrosos de manera eficiente, rápida y a un coste inferior en comparación con los otros métodos. Además, se ha demostrado que posee el

potencial para reemplazar los métodos de eliminación de iones metálicos convencionales (Torres et al., 2013)

Diferentes residuos agroindustriales se han usado como adsorbentes para la remoción de metales pesados, por ejemplo, bagazo de caña modificada (Homagai et al., 2010), paja modificada (Kumar et al., 2000), aserrín modificado (Memon et al. 2007; Nuran & Eren, 2006; Šćiban et al., 2006), entre otros. Muchos de estos adsorbentes son modificados químicamente para aumentar su capacidad de adsorción mediante la adición de grupos azufre a la superficie del adsorbente formando compuestos como los sulfuros, tioles, ditiocarbonatos, ditiolfosfatos y xantatos. Estos grupos se caracterizan por tener una alta afinidad por metales pesados, pero una baja afinidad por metales ligeros. De todos estos compuestos, los xantatos son los más prominentes por su facilidad de preparación con reactivos relativamente económicos, su alta insolubilidad y estabilidad de formación de complejos metálicos (Torres et al., 2013).

Por las ventajas que reporta la xantación en el aumento de la capacidad de adsorción de metales pesados con bioadsorbentes, en este proyecto se presenta la metodología seguida para aumentar la capacidad de adsorción del aserrín mediante la xantación de los grupos hidroxilos presentes en la celulosa, hemicelulosa y lignina. Para llevar a cabo la investigación, la hipótesis general que se planteó fue: El aserrín modificado por reacción de Xantación tiene la propiedad de adsorber iones plomo (II) de las aguas del río Jatun Ayllu, Ocuvi-Puno. Las hipótesis específicas: Mediante el correcto tratamiento se podrá modificar químicamente el aserrín a través de la reacción de Xantación, evaluando diferentes parámetros cinéticos e isotermas de adsorción se determinó el mejor modelo matemático que ajuste a la cinética de adsorción que permite determinar la capacidad de adsorción y remoción del Pb (II) con aserrín modificado, las condiciones de pH, tiempo de contacto y cantidad de masa de aserrín permite la remoción óptima del ion metálico Pb (II) de las aguas del río Jatun Ayllu.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

➤ Antecedentes a nivel local

Quispe (2016), en su trabajo de investigación “Recuperación de zinc de las aguas residuales de la ciudad de Juliaca por adsorción con salmuera de NaCl y aserrín de pino (pinos sylvestris)”. La remoción de zinc en salmuera (NaCl), aserrín de pino (pinus sylvestris) fue investigada por medio de experimentos Bath. La capacidad de adsorción de zinc en la salmuera como en el aserrín, fueron 2,29 y 5,59 (mg/g) para las relaciones adsorción/solución (A/S) 1/20 y 1/40, respectivamente. La fijación máxima de zinc fue obtenida, utilizando salmuera de NaCl con relaciones adsorbente/solución (A/S) 1/10, 1/20 y 1/40 se logró la remoción a pH 4, siendo 41,7 %; 34,2 %; 36,5 % respectivamente y a pH 7 la remoción es del 99,8%; del 99,7% y del 99,6%, respectivamente y con aserrín de pino (pinus sylvestris) la remoción a pH 4 siendo 40,5 %; 25,1 %; 15,9 % respectivamente y a pH 7 el porcentaje de remoción es del 99,8%; del 99,8% y del 82,3% respectivamente. En las curvas de cinética obtenidas para el zinc con salmuera se logró la remoción de 1,7 mg Zn²⁺/g de adsorbente y con aserrín 2,25 mg/g. La cinética de adsorción de ambos materiales presenta un comportamiento similar al alcanzado por la salmuera. En las isotermas de adsorción para los distintos materiales adsorbentes se observa que en la relación A/S 1/10 nunca se alcanzó el equilibrio dinámico. Esto se debe principalmente a que las concentraciones de 25, 50 y 75 mg/L pueden no haber sido lo suficientemente altas como para lograr la saturación del adsorbente.

Apaza (2015), en su trabajo “Remoción de metales plomo (Pb) y zinc (Zn) de las aguas del río t'oro q'ocha por precipitación alcalina en la ciudad de Juliaca”. 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 aplicando una solución

matemática general para la localización de puntos óptimos simultáneos a mejor tratamiento a partir del modelo de segundo orden, se 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.

➤ **Antecedentes a nivel nacional e internacional**

Hoyos et al. (2014), en su trabajo "Bioacumulación en *Brassica oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg. y *Raphanus sativus* L." tuvo como objetivo determinar la concentración de plomo y cadmio por bioacumulación en *Brassica oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg. y *Raphanus sativus* L., regadas con aguas a diferentes concentraciones de cada metal. Para ello se trabajó con 20 plantas de *B. oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg. y *R. sativus* L., con 14 días de desarrollo vegetativo, trasplantadas aleatoriamente y de forma individual en pozas experimentales con suelo homogenizado franco arenoso libre de metales plomo y cadmio. Éstas, asimismo, fueron sometidas a tratamientos de 0, 150 y 300 mg/L de cada metal con 4 repeticiones durante 60 días, se recolectaron muestras de suelo, raíz y parte aérea de cada especie vegetal para los análisis correspondientes de plomo y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer. Los resultados con un nivel de confianza del 95% refieren que en la parte aérea de *B. oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg., en la raíz de *R. sativus* L., y en el suelo donde fueron cultivadas, existe diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de plomo y cadmio de un tratamiento a otro. Se concluye, por tanto, que en la parte aérea de *B. oleracea* subsp. *capitata* (L.) Metzg., y en la raíz de *R. sativus* L., el plomo y el cadmio se bioacumulan con mayor concentración en soluciones de 300 mg/L, lo que demuestra que existe una relación direccional ascendente con las soluciones concentradas de los diferentes tratamientos.

Memon et al. (2007), examinaron la adsorción de Cd^{2+} en soluciones acuosas empleando aserrín de madera de cedro sin tratar y modificado. El estudio de valoración acidimétrica-alcalimétrica reveló que el aserrín posee cuatro grupos principales responsables de la unión de cadmio, los cuales eran carboxílicos, fosfóricos, aminos y fenólicos. Los estudios de adsorción mostraron que la capacidad de adsorción del aserrín tratado era cuatro veces mayor que el aserrín sin tratar.

Quiñonez et al. (2013), en su trabajo "Remoción de Plomo y Níquel en soluciones acuosas usando Biomosas Lignocelulósicas: una revisión" se identifican los bioadsorbentes extraídos de biomosas residuales utilizadas en la remoción de dos metales pesados, que presenta una amplia toxicidad para el ambiente: plomo y níquel. Se evalúa la capacidad de remoción de los mismos, destacando aquellos en los que se han obtenido altos porcentajes de remoción, mostrando la cinética aplicada en estos experimentos. Se encontró, que los bioadsorbentes más usados incluyen residuos de madera, cáscaras de frutos secos, residuos de cereales y cítricos. Para la remoción de plomo (II), el bagazo de caña de azúcar, con una capacidad de remoción de 333mg/g y para el níquel (II), la corteza de Acacia, con una capacidad de remoción de 294,1mg/g, han sido los bioadsorbentes con mayor eficiencia de remoción. Se encuentra que, en la mayoría de los experimentos, la cinética del proceso de adsorción es regida por la ecuación cinética de pseudo-segundo orden. Se recomienda el diseño de plantas piloto para la remoción de iones metálicos con las biomosas que mostraron mayor capacidad de adsorción, con el fin de que estos procesos puedan ser llevados a escala industrial.

Rehman et al., (2006) reportaron la eliminación de Ni^{2+} de medios acuosos mediante aserrín de Sissoo *Dalbergia* tratado con hidróxido de sodio. El estudio reveló que la máxima adsorción de níquel fue de 10.47 mg g^{-1} a 50 °C y que el Ni^{2+} se eliminó rápidamente durante los primeros 20 min.

Costodes et al., (2003) Al evaluar la remoción de Pb^{2+} y Cd^{2+} con aserrín de *Pinus sylvestris* tratado con formaldehído, encontraron que la adsorción de Pb^{2+} y Cd^{2+} siguen una cinética de pseudo-segundo orden y que uno de los pasos que determinan la velocidad de adsorción son los mecanismos de reacción. Las capacidades máximas de adsorción para el Pb^{2+} y Cd^{2+} fueron de 9.78 y 9.29 mg g^{-1} respectivamente.

Núñez (2015), en su trabajo se realizó a fin de remover este metal pesado de las aguas residuales en este estudio se describe la adsorción de plomo de soluciones acuosas a partir de aserrín modificado mediante el tratamiento con disulfuro de carbono e hidróxido de sodio, empleando una relación 0.335 aserrín/NaOH p/p y 1.125 CS_2 /aserrín p/p. Se realizaron pruebas de pH, cinética e isothermas de adsorción para evaluar la capacidad del Aserrín y Aserrín xantado para adsorber plomo, además la presencia de los grupos azufre en el Aserrín xantado fueron identificados por estudios de espectrometría en el infrarrojo medio con transformadas de Fourier (FTIR). Los resultados mostraron que la mejor

remoción de plomo fue a pH 5 para ambos materiales con porcentajes de adsorción de 89% y 98% de soluciones de 100 ppm de Pb^{2+} y dosis de 10 ml/50mg de adsorbente respectivamente. Los estudios cinéticos indicaron que el proceso de adsorción puede alcanzar el equilibrio alrededor de 120 min siguiendo una cinética de pseudo-segundo orden para ambos materiales. La capacidad máxima de adsorción del Aserrín fue de 64.52 mg Pb^{2+} /g de aserrín mientras que para el Aserrín Xantado fue de 71.95 mg Pb^{2+} /g aserrín de xantado, siguiendo ambos una isoterma tipo Freundlich. La aparición de nuevos picos a 612, 899 y 1237 cm^{-1} en el Aserrín xantado comprueba la incorporación de los grupos xantatos en el Aserrín.

Tejada et al. (2015), realizaron una revisión de los adsorbentes de origen orgánico para la remoción de iones metálicos presentes en una solución. Se destacan los subproductos agrícolas por estar altamente disponibles y ser económicos y eficientes; además, sus modificaciones químicas y su conversión a carbón activado son procesos que mejoran sustancialmente la eficiencia en la adsorción de los iones metálicos Pb (II), Hg (II), Ni (II), y Cr (VI), y muestran que la biosorción, aparte de ser un proceso relativamente nuevo, es eficiente en la extracción de contaminantes de efluentes acuosos. Se encontró un amplio rango de biomásas utilizadas que incluyen compuestos a partir de lignocelulosa, aserrín y hongos. El estudio de los trabajos analizados permite concluir que los diferentes tipos de biomásas son útiles para la remoción de metales pesados y que las variables como pH y tamaño de partícula afectan la eficiencia de adsorción, pero que, sin embargo, no se pueden generalizar valores óptimos debido a la selectividad de cada sistema.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo general

- Evaluar la capacidad de adsorción de Pb (II) mediante aserrín modificado, de las aguas del río Jatun Ayllu, Ocuvirí Puno.

2.2.2 Objetivos específicos

- Modificar químicamente el Aserrín a través de la reacción de Xantación.
- Determinar a través de la cinética e isothermas de adsorción la capacidad máxima de remoción del plomo con aserrín modificado
- Determinar las condiciones de pH, tiempo de contacto y cantidad de masa de aserrín para el proceso de remoción óptima del ion metálico Pb (II).

2.3 REFERENCIAS TEÓRICAS

2.3.1 EL AGUA

El agua, es la sustancia fundamental para supervivencia de la vida, según la Autoridad Nacional del Agua (2016), es definido como un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3,000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Alrededor del 98%, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos, el agua dulce que poseemos en un 69% corresponde a agua atrapada en glaciares y nieves, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7% se encuentra en forma de ríos y lagos. El agua es una molécula simple y extraña, puede ser considerada como el líquido de la vida. Es la sustancia más abundante en la biosfera, donde la encontramos en sus tres estados y es además el componente mayoritario de los seres vivos, pues entre el 65 y el 95% del peso de la mayor parte de las formas vivas es agua. (Loarte y Sanabria, 2015)

2.3.1.1 Contaminación del agua

La contaminación de cuerpos de agua (ríos, lagos, océanos y agua subterránea) ocurre cuando los contaminantes son descargados directamente o indirectamente en cuerpos de

agua sin un adecuado tratamiento que remueva los componentes dañinos. La contaminación del agua afecta plantas y organismos que viven en estos cuerpos de agua, y en la mayoría de los casos afecta dañando no solamente a las especies individuales y las poblaciones así como en las comunidades biológicas. El agua de dichos cuerpos se ha contaminado mediante sustancias tóxicas como ácidas, solventes orgánicas, pinturas, metales y demás, derivados de actividades industriales, agrícolas, ganaderas, domésticas, dicha agua ya no es apta para el consumo. La descarga de contaminantes específicos no es la única causa de contaminación del agua, también la construcción de presas, embalses y desviaciones de ríos pueden degradar seriamente su calidad (Loarte y Sanabria, 2015).

2.3.1.2 Contaminación del agua por metales pesados

2.3.1.2.1 Toxicidad y origen de los metales pesados

Los metales pesados son elementos que tienen pesos atómicos entre 63.5 y 200.6, y una gravedad específica mayor que 5.0 (Fu & Wang 2011). Aunque muchos de los metales pesados son necesarios por las plantas a nivel de micronutrientes, a concentraciones altas estos producen una variedad de efectos tóxicos. Un ejemplo de ello es el zinc, que a nivel de trazas es un elemento esencial para la salud humana, ya que regula muchos procesos bioquímicos y es importante para las funciones fisiológicas de los tejidos vivos. Sin embargo, a concentraciones altas el zinc puede causar problemas de salud de importancia, tales como calambres estomacales, irritaciones de la piel, vómitos, náuseas y anemia (Fu & Wang 2011). La exposición de un ser humano a un metal pesado puede causar efectos agudos o crónicos, los cuales pueden variar de un metal a otro.

2.3.1.2.2 Legislación aplicable a los metales pesados

El problema de la contaminación por metales pesados ha estado presente en las últimas décadas en la definición de normas y leyes de carácter ambiental, tanto en Europa como en Estados Unidos. Para el caso de Europa, la legislación existente en materia de aguas y de control de los vertidos de contaminantes al medio acuático es muy amplia y variada, por lo que se ha generado un marco legal que en ocasiones resulta complejo y difícil de interpretar. En la actualidad se está tratando de unificar y homogenizar este marco de referencia para conseguir una mayor aplicación y control de las medidas previstas, con el objetivo de que se facilite su cumplimiento y que, progresivamente, se puedan aplicar

condiciones más restrictivas que redunden en un beneficio social y ambiental considerable (Tenorio, 2006).

Reglamentos a nivel nacional

Decreto supremo N°015-2015-MINAM Modifican los estándares nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación, promulgado y publicado el 19 de diciembre de 2015

Decreto supremo N°010-2010-MINAM, Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, promulgado y publicado el 21 de agosto de 2010.

Decreto supremo N°021-2009-VIVIENDA valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Resolución de consejo directivo N° 009-2015-SUNASS-CD Modifican la directiva sobre valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, promulgado y publicado el 26 de marzo de 2015.

Decreto supremo N°002-2008-MINAM (cuadro 1), aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua en su categoría 1: poblacional y recreacional (parámetros inorgánicos), promulgado y publicado el 31 de julio de 2008.

Reglamento de la calidad del agua para consumo humano (cuadro 2) sección de parámetros inorgánicos. Aprobado por decreto supremo N°031-2010-SA del 24 de setiembre del 2010 /Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental.

2.3.2 PLOMO

El plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre, sin embargo, la principal fuente de contaminación por este se da debido a su utilización para la producción de pinturas, pigmentos, bacterias de almacenamiento, la explotación minera, la metalurgia y el reciclaje, también se puede encontrar en el agua del grifo debido a la corrosión de la tubería, según informa la OMS. El plomo es una sustancia que es adsorbida por el cuerpo principalmente a través de los sistemas digestivos y/o el trato respiratorio y se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos y se deposita y acumula con el paso del tiempo. Se estima que la contaminación con este metal causa cada año unos 600.000 nuevos casos de discapacidad

intelectual, así como unas 143.000 defunciones (Olivero *et al.*, 2007 & OMS). Los síntomas tóxicos de la contaminación con plomo son la anemia, insomnio, dolor de cabeza, mareo, irritabilidad, debilidad de los músculos, alucinaciones y daños renales (Fu & Wang 2011).

2.3.2.1 El plomo toxicidad y efectos sobre el ambiente

El plomo se encuentra en la naturaleza formando una gran variedad de minerales, entre los que se encuentran principalmente la galena (PbS), la anglesita (PbSO₄) y la cerusita (PbCO₃), (Landrigan, 1990).

Actualmente la máxima concentración aceptada para el agua de bebida está fijada en todos los países del mundo a niveles muy bajos. La Directiva 98/83 de la Unión Europea y la guía de la Organización Mundial de la Salud fijan la concentración máxima de plomo para el agua de consumo en un valor de 10 µg.L⁻¹ a partir de diciembre de 2013, siendo el valor actual de 25 µg.L⁻¹. (OMS, 2013)

Fuentes naturales

El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental, obteniéndose básicamente de la galena (PbS) y, en menor proporción, de otros minerales de plomo asociados a la galena y a los sulfuros complejos como la anglesita (PbSO₄), cerusita (PbCO₃), crocoita (PbCrO₄), etc. (Ministerio del Medio Ambiente, 2007).

Toxicidad

Los efectos de la intoxicación por plomo fueron descritos por Hipócrates en la antigua Grecia (Landrigan, 1990). Benjamín Franklin también describió el efecto de la ingesta de este metal entre los trabajadores de su imprenta, especialmente los que fabricaban y manipulaban los linotipos hechos de plomo. A pesar de tener referencias tan antiguas, el problema del plomo no se ha atendido como se debiera. Los textos de toxicología hasta la década de los setenta no dedicaban mayor atención a este problema. Desde los mediados a los años setenta, las autoridades de salud de los Estados Unidos reconocieron al envenenamiento por plomo en niños como un problema grave al que llamaron epidemia silenciosa. Este envenenamiento en niño se ha asociado a las superficies vidriadas como ventanas, puertas y pigmentos en determinadas pinturas (Klein, et al, 1970).

El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano. Puede causar, entre otros, estos daños y perturbaciones: de la biosíntesis de hemoglobina y anemia. (Klein, et al, 1970).

Dos estados de oxidación del plomo (+2, +4) son estables, pero la química ambiental está dominada por el ión Pb^{+2} , sus compuestos y complejos. En general el ion Pb^{+2} es más tóxico que los complejos inorgánicos, y por tanto cualquier factor que aumente la complejación y disminuya la concentración del ion libre afectará inversamente su toxicidad. (Greenpeace, 2012).

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).

2.3.2.2 Principales industrias y procesos fuente de producción de plomo

El uso más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave y municiones.

Debido a su excelente resistencia a la corrosión, el plomo encuentra un amplio uso en la construcción, en particular en la industria química. Es resistente al ataque por parte de muchos ácidos, porque forma su propio revestimiento protector de óxido. Como consecuencia de esta ventajosa característica, el plomo se utiliza mucho en la fabricación y el manejo del ácido sulfúrico, (Dabrowski A. 2001).

Se utiliza también como forro para cables de teléfono y de televisión. La ductilidad única del plomo lo hace particularmente apropiado para esta aplicación, porque puede estirarse para formar un forro continuo alrededor de los conductores internos. El uso del plomo en pigmentos ha sido muy importante, pero está decreciendo en volumen.

El pigmento que se utiliza más, en que interviene este elemento, es el blanco de plomo $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$; otros pigmentos importantes son el sulfato básico de plomo y los cromatos de plomo. (Duffus, 2001).

Se utilizan una gran variedad de compuestos de plomo, como los silicatos, los carbonatos y sales de ácidos orgánicos, como estabilizadores contra el calor y la luz para los plásticos de cloruro de polivinilo. Se usan silicatos de plomo para la fabricación de fritas de vidrio y de cerámica. El azuro de plomo, es el detonador estándar para los explosivos. Los arseniatos de plomo se emplean como insecticidas para la protección de los cultivos. El litargirio (óxido de plomo) se emplea mucho para mejorar las propiedades magnéticas de los imanes de cerámica de ferrita de bario. (Duffus, 2001).

Las aguas del río Jatun Ayllu que luego forma parte del río Ayaviri, presenta contaminación debido a la acumulación de metales pesados principalmente provenientes de los ríos afluentes que provienen de zonas mineras los cuales en la actualidad sobrepasan los límites permitidos por los organismos reguladores, (Arizaca, et al, 2010), en el trabajo “Estudio Integral de la Contaminación de la Cuenca del Ramis, reporta para la sub-cuenca del río Ayaviri; límites de plomo en el rango 0,56 mg/L y máx. 55 mg/Kg en sedimentos.

2.3.2.3 Tratamientos convencionales de eliminación de metales pesados de efluentes acuosos industriales

La inexistencia de vías naturales para la eliminación de los metales vertidos, hace que se acumulen, redistribuyéndose en el medio natural e introduciéndose en la cadena trófica donde pueden alcanzar niveles tóxicos para los seres vivos con graves implicaciones en

la salud de los seres humanos y de los animales. Una vez emitidos al medio los metales pueden permanecer en el entorno durante centenares de años, (Tenorio, 2006).

El tratamiento de efluentes contaminados es un proceso, a veces, más complicado que cualquier otro proceso de fabricación o manufactura de productos, debido a que las aguas a tratar pueden tener una composición muy variable en cuanto a componentes orgánicos e inorgánicos, acidez o basicidad extrema, presencia de sustancias volátiles, etc. Por tanto, son pocos los procesos que permiten la descontaminación de efluentes cumpliendo a la vez requisitos como pueden ser los costes económicos, flexibilidad en cuanto a la cantidad tanto de efluente a tratar como a la carga contaminante de este, continuidad del sistema, mínima supervisión y mantenimiento y suficiente selectividad en cuanto a la descontaminación de los metales considerados. (Vílchez, 2005).

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

En general estas tecnologías son inadecuadas para la eliminación de metales pesados de efluentes industriales pues crean problemas secundarios como lodos extremadamente difíciles de tratar, costes prohibitivos o no son suficientemente efectivas. (Gavrilescu, 2004).

No obstante, para disoluciones con altas concentraciones de metales pesados (cientos o miles de mg/l) pueden emplearse algunas tecnologías citadas (Volesky, 2005).

A continuación, se realizará una breve descripción de las tecnologías que han alcanzado mayor desarrollo:

A. Precipitación química

Consiste en la eliminación del ion metálico indeseable disuelto, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo. Normalmente, las especies metálicas en disoluciones precipitan al aumentar el pH. El proceso tiene lugar al de solubilizarse el metal y formarse el precipitado (Benefield y Morgan, 1999).

La capacidad de eliminación de los metales por precipitación química depende de dos factores (Landford, 1990):

- ✓ La solubilidad de la especie más soluble del metal que puede formarse, la cual es función del producto de solubilidad, pH del medio y concentración de la especie precipitante.
- ✓ La separación del sólido de la disolución acuosa.

B. Intercambio iónico

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

Así para la eliminación de metales pesados se han usado diferentes tipos de cambiadores de ion; así, se ha comprobado la eficacia de clinoptilolita para la recuperación de cadmio y plomo (Maliou y col., 1992).

C. Tecnología de membranas

Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringimiento el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Este hecho permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado (Ho y Sirkar, 1992)

D. Procesos electroquímicos

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

Electrodialisis: Este método aprovecha la propiedad que tienen los iones en solución de migrar, al aplicarles un potencial eléctrico, los iones positivos se desplazan hacia el electrodo negativo (cátodo) y los iones negativos se desplazan hacia el electrodo positivo (ánodo) y el agua purificada se conduce al recipiente de almacenamiento. (Landford, 1990).

E. Adsorción

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). Por ello se considera como un fenómeno subsuperficial. La sustancia que se concentra en la superficie se llama "adsorbato" y la fase adsorbente se llama "adsorbente". El proceso en el cual las moléculas se concentran en una capa interfacial se conoce como adsorción. Si las moléculas penetran al interior de la fase sólida, el proceso es conocido como absorción. (Dabrowski A, 2001).

La adsorción física está causada principalmente por fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, dándose estas entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente. Estos adsorbentes están caracterizados principalmente por las propiedades de la superficie, como su área superficial y su polaridad. El ion es adsorbido por el sólido dependiendo de la carga relativa entre ambos. Este proceso puede ser lento o rápido, dependiendo de la composición del adsorbente, del adsorbato y de la temperatura.

La adsorción química o quimiadsorción es debida a fuerzas de naturaleza química y es un proceso que depende de la temperatura, la naturaleza química del sólido y la concentración de la especie a adsorber. En los sistemas naturales es frecuente que ambos se den en la misma superficie sólida. Volesky (2003)

La diferencia fundamental entre ambas es que en el caso de la fisisorción la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, mientras que durante la quimisorción la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación, dando lugar a una especie distinta. (Tenorio, 2006).

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

2.3.2.4 Remoción de metales pesados

En la actualidad existen una serie de procesos que son utilizados en la remoción de metales pesados, entre los que se encuentran la precipitación química, la filtración por medio de membranas, la reducción electrolítica, la extracción por medio de solventes, el intercambio iónico, y la adsorción. Algunas de estas tecnologías no son aplicables en todas las situaciones, debido a una serie de inconvenientes tales como: baja eficiencia y aplicabilidad a una amplia gama de contaminantes, generación de residuos, dificultad de encontrar condiciones óptimas de operación cuando se presentan distintos metales pesados en una solución y la necesidad de pre-tratamientos. (Loarte y Sanabria, 2015)

El proceso en el cual las moléculas se concentran en una capa interfacial se conoce como adsorción. Si las moléculas penetran al interior de la fase sólida, el proceso es conocido como absorción. El término adsorción generalmente es utilizado cuando los procesos de adsorción y absorción ocurren simultáneamente y no se pueden distinguir uno de otro, mientras que, si la adsorción de una o varias especies iónicas es acompañada por la desorción simultánea de una cantidad equivalente de especies iónicas, el proceso se denomina como intercambio iónico (Dabrowski, 2001). La representación esquemática de la adsorción, absorción e intercambio iónico se puede observar en la Figura N° 1.

La adsorción puede ser resultado de interacciones de Van der Waals (adsorción física o fisisorción) o puede ser resultado de procesos de carácter químico (adsorción química o quimisorción). La diferencia fundamental entre ambas es que en el caso de la fisisorción la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, mientras que durante la quimisorción la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación, dando lugar a una especie distinta. (Loarte y Sanabria, 2015)

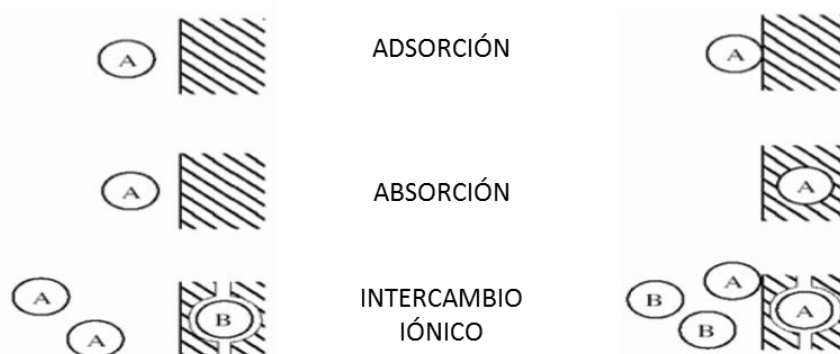


Figura N° 1. Representación esquemática de los procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico.

Fuente: Appelo y Postma (1993).

2.3.3 ADSORCIÓN

2.3.3.1 bioadsorción: una tecnología alternativa

La necesidad de métodos económicos y efectivos para la eliminación de los metales pesados ha tenido como resultado el desarrollo de nuevas tecnologías de separación. En este sentido, existen varios procesos que están siendo investigados con el fin de retirar metales pesados de residuos líquidos, destacando entre ellos: la precipitación extracelular, la biosorción y la captación a través de biopolímeros purificados y de otras moléculas especializadas derivadas de células microbianas, basadas las dos últimas en la capacidad de los metales para unirse por distintos mecanismos a materiales biológicos (Pagnanelli, 2005).

Un proceso de biosorción involucra una fase sólida (biosorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente agua) que contiene las especies disueltas que van a ser biosorbidas (sorbato, esto es, iones metálicos). Debido a la gran afinidad del sorbente por las especies del sorbato, éste último es atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos. Este proceso continúa hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato enlazado al sólido. La afinidad del biosorbente por el sorbato determina su distribución entre las fases sólida y líquida. (Cañizares – Villanueva, 2000).

a. Definición.

El término “biosorción”, se utiliza para referirse a la captación de iones de metales por una biomasa viva o muerta, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. (Davis, 2003).

En los últimos años se ha diversificado la utilización de biomasa muerta o productos derivados de ella, ya que, además de eliminar el problema de la toxicidad, presenta ventajas económicas, tanto de mantenimiento como evitando el suplemento de nutrientes. Sin embargo, las células vivas pueden presentar una variedad más amplia de mecanismos de la biosorción y bioacumulación, término que a veces son utilizados erróneamente de forma indistinta (Cañizares-Villanueva, 2000).

b. Proceso de biosorción.

Los dos mecanismos diferenciados para la captación de los metales pesados por parte de la biomasa son:

- **Bioacumulación.** Basada en la absorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación en la parte interna de las células de biomasa vivas
- **Bioadsorción.** Basada en la adsorción de los iones por biomasa muerta tratada con sustancias químicas y sin tratar. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación y atracción electrostática

La remoción y recuperación de metales pesados de efluentes líquidos por el mecanismo de biosorción ha sido mencionado en varias publicaciones utilizando diferentes combinaciones de metales y biosorbentes. Sus ventajas más evidentes en comparación con los métodos tradicionales son:

- Uso de materiales renovables que pueden ser producidos a bajo costo.
- Alta capacidad para acumular iones metálicos de manera eficaz y rápida.
- Capacidad para tratar grandes volúmenes de agua contaminada debido a la rapidez del proceso.
- Alta selectividad en relación a metales específicos.
- Capacidad de captar varios metales pesados y mezclas de residuos.
- Gran reducción en el volumen de los residuos peligrosos producidos.
- Bajo capital invertido.

Actúa bajo un amplio rango de condiciones fisicoquímicas incluyendo temperatura, pH y presencia de otros iones.

c. Ventajas y desventajas de la bioadsorción

Ventajas

- Es una tecnología limpia; utiliza materiales naturales o los residuos de la industria, (utilizando productos naturales no sintéticos).
- Es al mismo tiempo una técnica de fácil implementación.
- El proceso de bioadsorción provee un rendimiento comparable al competido comercial más cercano: resinas sintéticas de intercambio iónico, carbón activado y otros disponibles comercialmente.
- El precio de un bioadsorbente está en el orden de 1/10 del precio de una resina de intercambio.
- Protege el medio ambiente de los metales tóxicos contenidos en los efluentes líquidos, removiéndolos de los relaves mineros previo a su evacuación.
- Bajo consumo energético.
- Alta selectividad.

Desventajas

- No se puede compactar el bioadsorbente, porque el proceso de transferencia de masa se vuelve deficiente.

2.3.3.2 Ensayos de biosorción de metales pesados en medio acuoso

El primer reto de los investigadores ha sido seleccionar las mejores biomásas, que sean altamente disponibles y de bajo costo, para ser considerados para su aplicación a gran escala. Un amplio rango de tipos de biomasa y capacidades de biosorción han sido comparados de manera cuantitativa en años anteriores bajo condiciones variables, sin embargo aún se siguen probando nuevos tipos de biomasa que tengan un bajo costo y alta efectividad. (Trelles, 2013).

Tabla N° 1. Tipos de biomosas naturales usadas para la preparación de biosorbentes.

Categoría de biomasa	Ejemplos
Bacterias	Bacterias gram-positivas, gram-negativas y cianobacterias.
Hongos	Mohos, setas y levaduras.
Algas	Micro algas, algas marrones, algas marinas rojas, etc.
Residuos industriales	Residuos de fermentación, residuos de la industria de alimentos y bebidas, lodos activados, lodos anaeróbicos.
Residuos agroindustriales	Residuos de frutas y vegetales, cascarilla de arroz, salvado de trigo, vaina de soya, etc.
Residuos naturales	Residuos de plantas y vegetales, aserrín, cortezas de árboles, hierbas, melaza, etc.
Otros	Materiales con alto contenido de quitina y celulosa

Fuente: Park et al. (2010).

Luego de elegir un tipo particular de biomosas abundante y de bajo costo, las capacidades del biosorbente para la remoción del contaminante objetivo pueden ser derivadas a través de métodos físicos, químicos o fisicoquímicos simples. Aun cuando se pueden obtener biosorbentes estables luego del simple corte o triturado de biomosas secas, algunos tipos de biomosas pueden requerir ser inmovilizadas en un polímero sintético o acoplarse con material inorgánico de soporte como la sílice, para obtener partículas con las propiedades mecánicas requeridas.

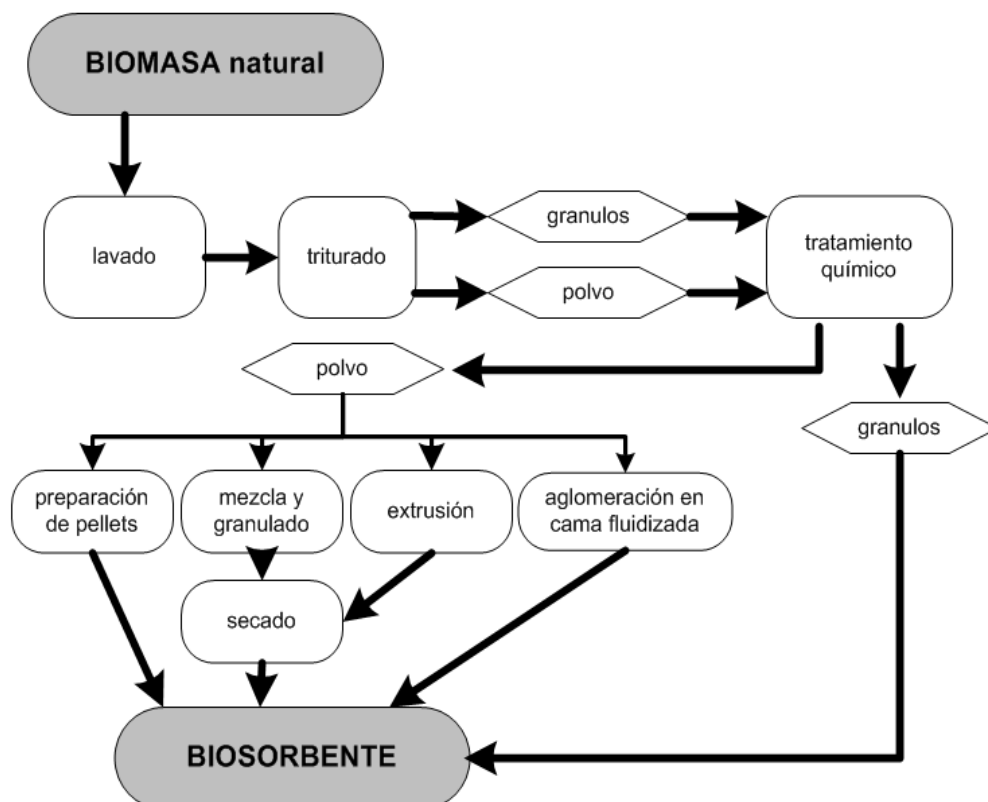


Figura N° 2. Diagrama esquemático de los diferentes procesos para la preparación de biosorbentes usando biomazas naturales.

Fuente: Trelles (2013).

Asimismo, existen métodos de pre-tratamiento a los cuales los biosorbentes pueden ser sometidos con el objeto de mejorar su capacidad de remoción. Algunos de estos métodos involucran la modificación física, química y celular de los biosorbentes de manera que los “grupos de captura” sean activados y la capacidad de remoción mejorada.

Tabla N° 2. Métodos de modificación de biosorbentes en su estado natural para el mejoramiento de sus capacidades de biosorción.

Categoría de biomasa	Ejemplos
Modificación física	Auto clavado, vaporizado, secado térmico, liofilizado, cortado, molido, etc.
Modificación química Pre-tratamiento (lavado) Mejoramiento de los grupos de captura Eliminación de los grupos inhibidores	<p>Ácidos (HCl, H₂SO₄, HNO₃, H₃PO₄, ácido cítrico, etc.), solventes orgánicos (metanol, etanol, acetona, tolueno, formaldehído, epiclorohidrina, ácido salicílico, NTA, EDTA, etc.), y otros químicos (NaCl, CaCl₂, ZnCl₂, Na₂CO₃, NaHCO₃, K₂CO₃, (NH₄)₂SO₄, H₂O₂, NH₄CH₃COO, etc.)</p> <p>Aminación, carboxilación y/o fosforilización de los grupos hidroxilos, carboxilación del grupo amino, aminación del grupo carboxilo, saponificación del grupo éster, sulfonación, halogenación, oxidación, etc.</p> <p>De-carboxilación o eliminación del grupo carboxilo, des-aminación o eliminación del grupo amino</p>

	Polimerización e injerto	Injerto de radiación de alta energía (usando irradiación y microondas, radiación electromagnética, etc.), injerto fotoquímico (con o sin sensitizadores) e injertos de iniciación química (usando ión permanganato, nitrato ferroso de aluminio, H ₂ O ₂ , KMnO ₄ /ácido cítrico)
Modificación celular (durante el crecimiento)	Mejoramiento del cultivo	Optimización de las condiciones del cultivo para el mejoramiento de la capacidad de biosorción de las células
	Ingeniería genética	Sobre-expresión de los péptidos ricos en cisteína y expresión de las proteínas híbridas en las superficies de las células

Fuente: Trelles (2013).

2.3.3.3 Mecanismos implicados en la bioadsorción de metales pesados

El proceso de bioadsorción incluye tanto etapas de transporte como etapas de reacción, como se ilustra en la Figura 5, en la cual se muestran las partículas de bioadsorbente en el interior de una columna y la localización de las diferentes etapas del proceso. (Izquierdo, 2010)

Las etapas pueden clasificarse atendiendo al lugar en el que se desarrollen, según se produzcan en el seno de la disolución o en el interior de la partícula de adsorbente, y son las siguientes:

Etapas en el seno de la disolución:

Transferencia de materia externa desde el seno de la disolución hasta la superficie de las partículas de adsorbente. En esta etapa la fuerza impulsora es la diferencia

de concentración en el interfaz sólido líquido que rodea cada partícula y que depende de las condiciones hidrodinámicas externas.

Mezcla o ausencia de ésta. Puede dar lugar a un flujo global no uniforme, provocado por la existencia de una distribución de velocidades y la aparición de zonas muertas en el interior del lecho.

Etapas en el interior de la partícula:

Difusión a través de los poros. Se refiere al transporte del adsorbato por el interior de poros de gran tamaño o macroporos. La fuerza impulsora es el gradiente de concentración en el interior de los poros.

Difusión en la fase adsorbida o difusión superficial. Se refiere a la difusión en el interior de poros pequeños en los que las moléculas de adsorbato se encuentran siempre bajo la influencia del campo de fuerza de la superficie del adsorbente. La difusión se produce por transferencias sucesivas de las moléculas entre centros activos. La fuerza impulsora es el gradiente de concentraciones de las especies en su forma adsorbida.

Adsorción. La última etapa del proceso de bioadsorción global es la retención de los metales en la superficie del sólido. Puede tener lugar tanto en la superficie externa como en el interior de los poros.

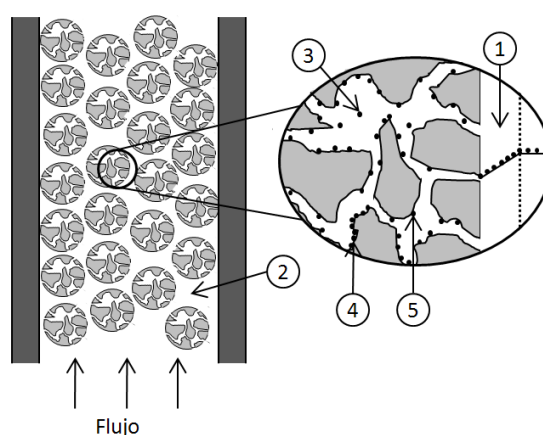


Figura N° 3. Esquema general de los mecanismos del proceso de bioadsorción en columna de lecho fijo.

Fuente: izquierdo (2010).

Donde:

1. Transferencia de materia externa
2. Mezcla
3. Difusión en los poros
4. Difusión superficial
5. Adsorción

Debido a la complejidad de los bioadsorbentes, la retención de los metales se produce por la coexistencia de procesos de intercambio iónico, adsorción y microprecipitación. (Izquierdo, 2010)

2.3.3.4 Factores que afectan el proceso de biosorción

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

Los siguientes factores afectan el proceso de biosorción:

A) pH

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

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

B) Naturaleza del adsorbato

El adsorbato es un factor influyente en el equilibrio de adsorción. Existe una regla general para predecir el efecto de la polaridad del soluto sobre la adsorción y consiste en que el soluto polar preferirá la fase que es más polar. En otras palabras, un soluto polar será

fuertemente adsorbido por un adsorbente polar, cuando esté en un disolvente no polar (Castro, 1998).

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

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

C) Concentración inicial de metal

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

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

D) Temperatura

La adsorción es un proceso exotérmico y se produce por tanto de manera espontánea si el adsorbente no se encuentra saturado. La cantidad de material que se acumula depende del equilibrio dinámico que se alcanza entre la tasa a la cual el material se adsorbe a la superficie y la tasa a la cual se puede liberar, y que normalmente dependen de forma importante de la temperatura (Carrera, 2008).

E) Grupos activos

En la bibliografía se reporta, que la presencia de funcionalidades oxigenadas de naturaleza acida o polarizable en la estructura del sorbente, principalmente grupos carboxilos,

carbonilos, fenoles y lactosas, favorece la captación de cationes metálicos. (Banwell C., 1994)

F) Tamaño de partícula

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

2.3.3.5 Aserrín como material adsorbente.

El aserrín es un desecho abundante de la industria de madera disponible a un precio mínimo. Está conformado por varios compuestos orgánicos, principalmente celulosa, hemicelulosa y lignina. Diversos estudios muestran que los residuos naturales que están compuestos por estos últimos son eficientes para la eliminación de metales pesados (Torres *et al.*, 2013). La celulosa es el componente principal de la madera y se encuentra en un rango de 38-50%; es un biopolímero que está formado por unidades monoméricas de D-glucosa mediante enlaces glicosídicos β -1-4' (aproximadamente 1500 unidades de glucosa por molécula) y es la sustancia orgánica más abundante (WADE LG) y renovable del mundo, pues se estima que gracias a la fotosíntesis cada año se sintetizan de 1011 a 1012 toneladas de celulosa relativamente pura, ya que a menudo esta se combina con la lignina y otros polisacáridos en la pared celular de las plantas leñosas

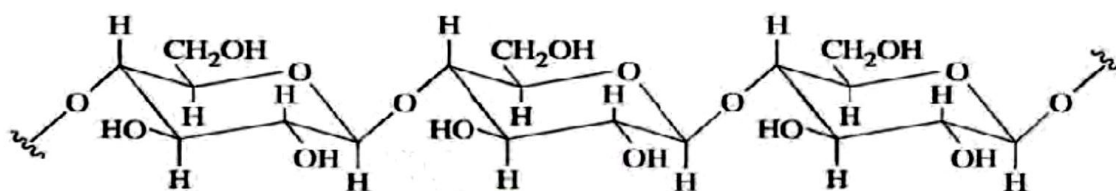


Figura N° 4. Estructura química de la celulosa.

Fuente: Química Orgánica de Wade.

La celulosa como tal posee una capacidad de adsorción de metales pesados baja, sin embargo cuando se modifica químicamente, sus propiedades de adsorción se incrementan. Una de estas modificaciones consiste en la incorporación de grupos

quelantes o funcionales en el esqueleto de la celulosa, obteniendo de esta manera una gran variedad de bioadsorbentes (O'Connell *et al.*, 2008). Las modificaciones tienen lugar en los tres grupos hidroxilos (-OH) libres presentes en cada unidad de glucosa de la celulosa, dejando así la cadena esencialmente intacta. Algunas de las modificaciones consisten en reacciones de esterificación, eterificación, halogenación, oxidación y xantación (O'Connell *et al.*, 2008 & WADE L.G). La lignina es otro biopolímero que se encuentra abundantemente en las plantas vasculares y al igual que la celulosa se produce a partir de la fotosíntesis. La lignina es un recurso renovable cuya producción anual se ha estimado en el intervalo de 5 – 36 x 10⁸ toneladas (Chavez *et al.*, 2013). En la lignina se encuentran grupos funcionales fenólicos, carboxílicos, alcoholes, aldehídos y grupos éter. Estos grupos poseen la capacidad de formar complejos con los iones metálicos en solución por donación de un par de electrones (Pagnanelli *et al.*, 2003). La presencia de estos biopolímeros en la madera muestra la factibilidad de usar el aserrín como un posible material adsorbente para remover metales pesados de los efluentes industriales.

2.3.3.5.1 Mecanismos de adsorción.

Diversas investigaciones realizadas muestran que el aumento de la capacidad de los residuos agrícolas Xantados para remover metales pesados se deben a procesos de intercambio iónico, mecanismos de complejación o una combinación de ambos procesos. Por intercambio iónico, dos átomos de azufre con carga negativa participan en la captura de un ion divalente, mientras que la formación del complejo se produce entre cuatro átomos de azufre y un ion divalente (Ver Fig.5) (Liang *et al.*, 2009 y Torres *et al.*, 2013).

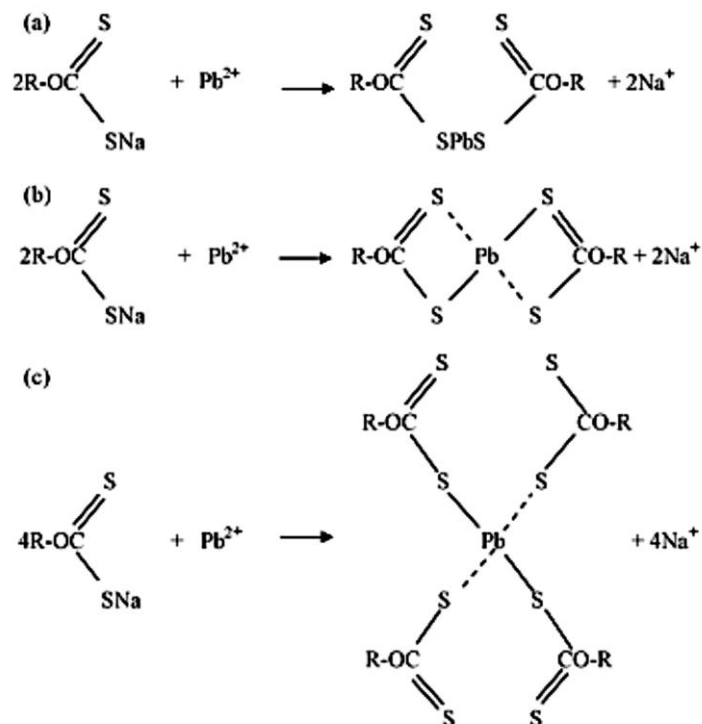


Figura N° 5. Mecanismo de adsorción propuesto: (a) intercambio iónico, (b) y (c) complejación.

Fuente: Liang *et al.*, 2009

2.3.3.5.2 Reacción de Xantación

Los xantatos son grupos que se producen por la reacción de un sustrato orgánico que tiene grupos hidroxilos con disulfuro de carbono en condiciones básicas (Ver Fig. 6).

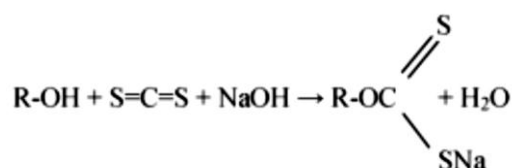


Figura N° 6. Reacción de xantación entre el disulfuro de carbono e hidróxido de sodio.

Fuente: Liang *et al.*, 2009

De acuerdo con la teoría HSAB (Por sus siglas en inglés: Hard and Soft Acids and Bases. En español: Ácidos y Bases Duras y Blandas), los xantatos son bases suaves que tienen una alta afinidad por metales pesados como plomo, cadmio, cobre, entre otros, que se clasifican como ácidos suaves, pero una baja afinidad por metales ligeros (Liang *et al.*, 2009).

2.3.3.6 Equilibrio de bioadsorción

En el equilibrio de adsorción existe una proporción definida de soluto repartida entre las dos fases, líquida y sólida. (Mestanza, 2012)

La forma habitual de expresar esta distribución es la capacidad de equilibrio, definida como:

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{w} \times V \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

q_e : Capacidad de equilibrio.

C_0 : Concentración inicial de adsorbible en fase líquida.

C_e : Concentración en equilibrio de adsorbible en fase líquida.

V : Volumen de disolución.

w : Masa del adsorbente.

2.3.3.7 Cinética de adsorción

En el proceso de adsorción, las moléculas de adsorbato se difunden sobre las partículas del adsorbente, a la capacidad de adsorción en equilibrio (basado en un tiempo de contacto), es decir, a la velocidad con la cual la molécula específica pasa de la fase líquida a la fase sólida. (López 2009)

La cinética de adsorción describe la velocidad de atrapamiento del adsorbato, lo cual controla el tiempo de residencia de este en la interface sólido - disolución y además su conocimiento permite predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado, las cuales se determinan por experimentación y no pueden ser interferidas en ningún caso. (Loarte y Sanabria, 2015)

La adsorción de un adsorbato se efectúa según una sucesión de cuatro etapas cinéticas. (Loarte y Sanabria, 2015)

1. El primero de ellos es el transporte de adsorbato o soluto, en la fase líquida. Usualmente es rápido debido a la agitación.
2. El transporte a través de la película fija o capa superficial del líquido en el exterior del adsorbente (difusión de película).

3. La difusión en el poro puede llevarse a cabo de dos maneras: difusión en el líquido dentro del poro y/o en sitios activos a lo largo de la superficie de las paredes del poro (difusión superficial).
4. Finalmente, la adsorción del soluto en la superficie interna del adsorbente.

2.3.3.7.1 Modelo cinético de primer orden de Lagergren

La ecuación de primer orden de Lagergren, la cual se basa principalmente en la capacidad de adsorción del sólido, donde cada ion metálico se le asigna un sitio de adsorción de material adsorbente, lo cual en términos de velocidad de reacción se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad \text{Ec. 2}$$

Integrando la Ec. 2 y aplicando como condiciones de contorno a $t=0, q_t=0$ y a $t=t, q_t=q_t$ se tiene:

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{(q_e - q_t)} = k_1 \int_0^t dt$$

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t \quad \text{Ec. 3}$$

$$v_1 = k_1 \times q_e \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

q_t : Concentración del metal removido en tiempo por cantidad del adsorbente (mg/g).

q_e : Concentración del metal removido en el equilibrio por cantidad del adsorbente (mg/g).

k_1 : Constante de velocidad en el equilibrio de una adsorción de Pseudo primer orden (min^{-1}).

t : Tiempo (min).

v : Velocidad de adsorción de Pseudo primer orden (mg/g×min).

2.3.3.7.2 Modelo cinético de Pseudo segundo orden

Este modelo fue desarrollado por Ho y McKay y dado a conocer en 1999. En él se supone que el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos de la biomasa. A partir de esta fecha, muchas más investigaciones han reportado un mejor ajuste de los datos experimentales obtenidos a este modelo, con coeficientes de correlación superiores a los de los otros modelos ensayados. En este caso, la ecuación de velocidad de la cinética de adsorción se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{Ec. 5}$$

Integrando la Ec. 5 y aplicando como condiciones de contorno a $t=0, q_t=0$ y a $t=t, q_t= q_t$ se tiene:

$$\int_0^{q_t} (q_e - q_t)^{-2} dq_t = k_2 \int_0^t dt$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Ec. 6}$$

$$v_2 = k_2 \times q_e^2 \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

q_t : Concentración del metal removido en tiempo por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

q_e : Concentración del metal removido en el equilibrio por cantidad por cantidad del adsorbente (mg/g).

k_2 : Constante de velocidad en el equilibrio de una adsorción de Pseudo primer orden (g/mg×min).

t : Tiempo (min).

v : Velocidad de adsorción de Pseudo primer orden (mg/g×min).

Tabla N° 3. Ecuaciones de primer y pseudo-segundo orden.

Modelo cinético	Ecuación diferencial	Ecuación integral
Expresión de primer orden de Lagergren	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303}t$ $v_1 = k_1 \cdot q_e$
donde q es la cantidad del contaminante adsorbida en el biosorbente en el tiempo t ; k_1 es la tasa constante de Lagergren de biosorción de primer orden ; v_1 es la tasa inicial de biosorción (Lagergren, 1898)		
Ecuación de pseudo-segundo orden	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$ $v_2 = k_2 \cdot q_e^2$
donde k_2 es la tasa constante de biosorción de pseudo-segundo orden ; v_2 es la tasa inicial de biosorción (Ho y Mc Kay, 1999)		

Fuente: Trelles (2013).

2.3.3.7.3 Modelo de Elovich

El modelo de Elovich, se utiliza para determinar la cinética de quimisorción de gases sobre sólidos, pero también se utiliza para describir la adsorción de contaminantes en soluciones acuosas, se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{dq_t}{dt} = a \times e^{-bq_t} \tag{Ec. 8}$$

Integrando la Ec. 8 y aplicando como condiciones de contorno a $t=0, q_t=0$ y a $t=t, q_t= q_t$ se tiene:

$$\int_0^{q_t} \frac{dq_t}{e^{-bq_t}} = a \int_0^t dt$$

$$q_t = \frac{1}{b} \text{Ln}(1 + abt)$$

$$q_t = \frac{1}{b} \text{Ln}(a \times b) + \frac{1}{b} \text{Lnt} \tag{Ec. 9}$$

Donde:

q_t : Cantidad del metal absorbido en un tiempo t (mg/g).

a : Velocidad de adsorción inicial (mg/g*min).

b: Está relacionado con la superficie cubierta y la activación por quimiadsorción (mg/g).

t: tiempo (min).

2.3.3.7.4. Modelo de difusión intraparticular

La hipótesis sobre el mecanismo de difusión intraparticular en el interior de los poros de la partícula de adsorbente está basada en el transporte de soluto a través de la estructura interna de los poros de adsorbente y la difusión propiamente dicha en el sólido, lo que conlleva a que el adsorbente posea una estructura porosa homogénea.

Weber y Morris (1963), concluyeron que, en un proceso controlado por la adsorción en los poros, la velocidad inicial es directamente proporcional a la concentración del soluto. La difusión intraparticular se caracteriza por la dependencia entre la adsorción específica y la raíz cuadrada del tiempo, siendo la pendiente la velocidad de difusión intraparticular.

Con base en lo anterior, la ecuación que define la difusión intraparticular viene dada por:

$$q_t = k \times \sqrt{t} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

q_t : Cantidad del metal absorbido en un tiempo t (mg/g).

k : Constante de velocidad de difusión intraparticular ($\text{mg} \times \text{g}^{-1} \times \text{min}^{-1/2}$).

t : Tiempo (min).

2.3.3.8 Isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción son curvas construidas a partir de pares (C_e , q_e) a una temperatura constante. Pueden ocurrir varios tipos de relaciones isotérmicas de adsorción.

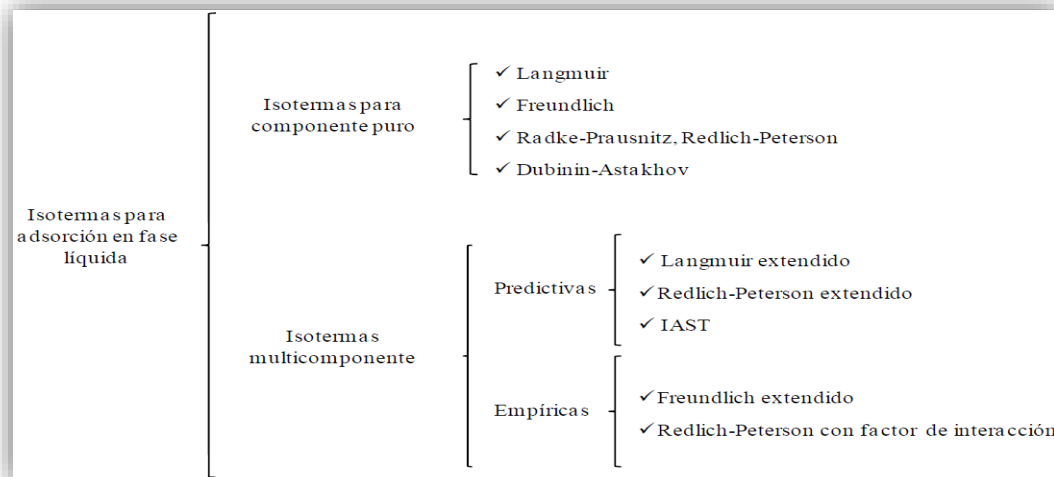


Figura N° 7. Clasificación de los modelos de isotermas aplicables a sistemas en fase líquida.

Fuente: Mestanza (2012).

Sin embargo, los dos modelos de isotermas de adsorción más extensamente utilizados para la recuperación de un único componente, son los correspondientes a las ecuaciones de Langmuir y Freundlich. Ambos modelos describen una amplia gama de equilibrios de adsorción y permitan una interpretación física y sencilla de cómo se producen las interrelaciones entre una sustancia adsorbida (adsorbato) y una fase que adsorbe (adsorbente).

2.3.3.8.1. Modelo de Langmuir

El modelo Langmuir, describe cuantitativamente el depósito de una gran capa de moléculas sobre una superficie adsorbente como una función de la concentración del material adsorbido en el líquido con el que está en contacto. La adsorción se produce solamente en determinados lugares y no tienen una interacción entre las moléculas retenidas. (Loarte y Sanabria, 2015)

La fórmula que describe este modelo es:

$$q_e = \frac{x}{m} = \frac{Q_0 b C_e}{1 + b C_e} \quad \text{Ec. 11}$$

La forma lineal de la ecuación de Langmuir puede ser escrita como:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bQ_0} + \frac{C_e}{Q_0} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

$q_e = x/m$: Concentración del soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente (mg/g).

Q_0 : Concentración del soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente requerido para la capacidad de mono capa en la superficie (mg/g).

C_e : Concentración del soluto en equilibrio (mg/L).

b : Constante de Langmuir, la cual se refiere a la energía de adsorción (L/mg).

2.3.3.8.2. Modelo de Freundlich

Es el modelo más ampliamente utilizado como modelo de isoterma no lineal. Relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto. Es un modelo riguroso para los casos de sorción en superficies heterogéneas.

La ecuación de Freundlich se rige por la fórmula general:

$$\frac{C_e}{q_e} = K_F C_F^{1/n} \quad \text{Ec. 13}$$

La forma lineal de la ecuación de Freundlich puede ser escrita como:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

q_e : Concentración del soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente (mg/g).

K_f : Constante de Freundlich (mg/g)(L/mg)^{1/n}.

C_e : Concentración del soluto en equilibrio (mg/L)

K_f y n : Coeficientes obtenidos empíricamente y son constantes características del adsorbente y adsorbato.

2.3.3.8.3. Modelo de Langmuir – Freundlich

La isoterma de Langmuir - Freundlich es utilizada principalmente para describir superficies heterogéneas. A bajas concentraciones de sorbato se reduce a la isoterma de Freundlich, mientras que a altas concentraciones de sorbato predice una capacidad de biosorción en monocapa característica de la isoterma de Langmuir. (Loarte y Sanabria, 2015)

La ecuación de Langmuir-Freundlich puede ser expresado mediante la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{K_{LF} C_e^{1/n}}{1 + \alpha_{LF} C_e^{1/n}} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

q_e : Cantidad del metal retenido en el bioadsorbente (mg/g).

C_e : Concentración del soluto en equilibrio (mg/L).

K_{LF} y α_{LF} : Constantes empíricas.

Existen otros modelos de isotermas empíricas que pueden resultar útiles en determinados sistemas: Unilan, Keller, Dubinin-Radushkevich, Temkin, Jovanovic.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

El aserrín modificado por reacción de Xantación tiene la propiedad de adsorber iones plomo (II) de las aguas del río Jatun Ayllu, Ocuviro Puno.

2.4.2. Hipótesis específicos

Mediante el correcto tratamiento se podrá modificar químicamente el aserrín a través de la reacción de Xantación.

La cinética e isothermas de adsorción permite determinar la capacidad de adsorción y remoción del Pb (II) con aserrín modificado.

Las condiciones de pH, tiempo de contacto y cantidad de masa de aserrín permite remoción óptima del ion metálico Pb (II).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en el departamento de Puno – Perú, las pruebas experimentales se desarrollaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, bajo las condiciones ambientales de una temperatura de 14 °C, presión atmosférica de 486 mmHg, altitud de 3828 m.s.n.m., latitud de 15° 49' 22,682" S, longitud de 70° 01' 6,635" O.



Figura N° 8. Localización del ámbito de estudio.

Fuente: Coordenadas-gps (2019).

3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.2.1. MATERIA PRIMA

- Aserrín (tornillo “aguano”, copaiba, caoba y derivados de madera común)

3.2.2. INSUMOS Y REACTIVOS

- Muestra de agua contaminada
- Agua destilada
- Hidróxido de sodio (NaOH) de 0.25N
- Ácido clorhídrico (HCl) de 0.5N
- Ácido nítrico (HNO₃) de 1 N
- Sulfuro de carbono P.A

3.2.3. MATERIALES DE LABORATORIO

- Matraz Erlenmeyer
- Probeta
- Vasos de precipitación
- Buretas
- Pipetas
- Pissetas
- Barra de agitación
- Fiolas
- Tubos de ensayo
- Tubos de centrifuga
- Embudo
- Gradilla
- Equipo pulverizador de olla
- Papel toalla

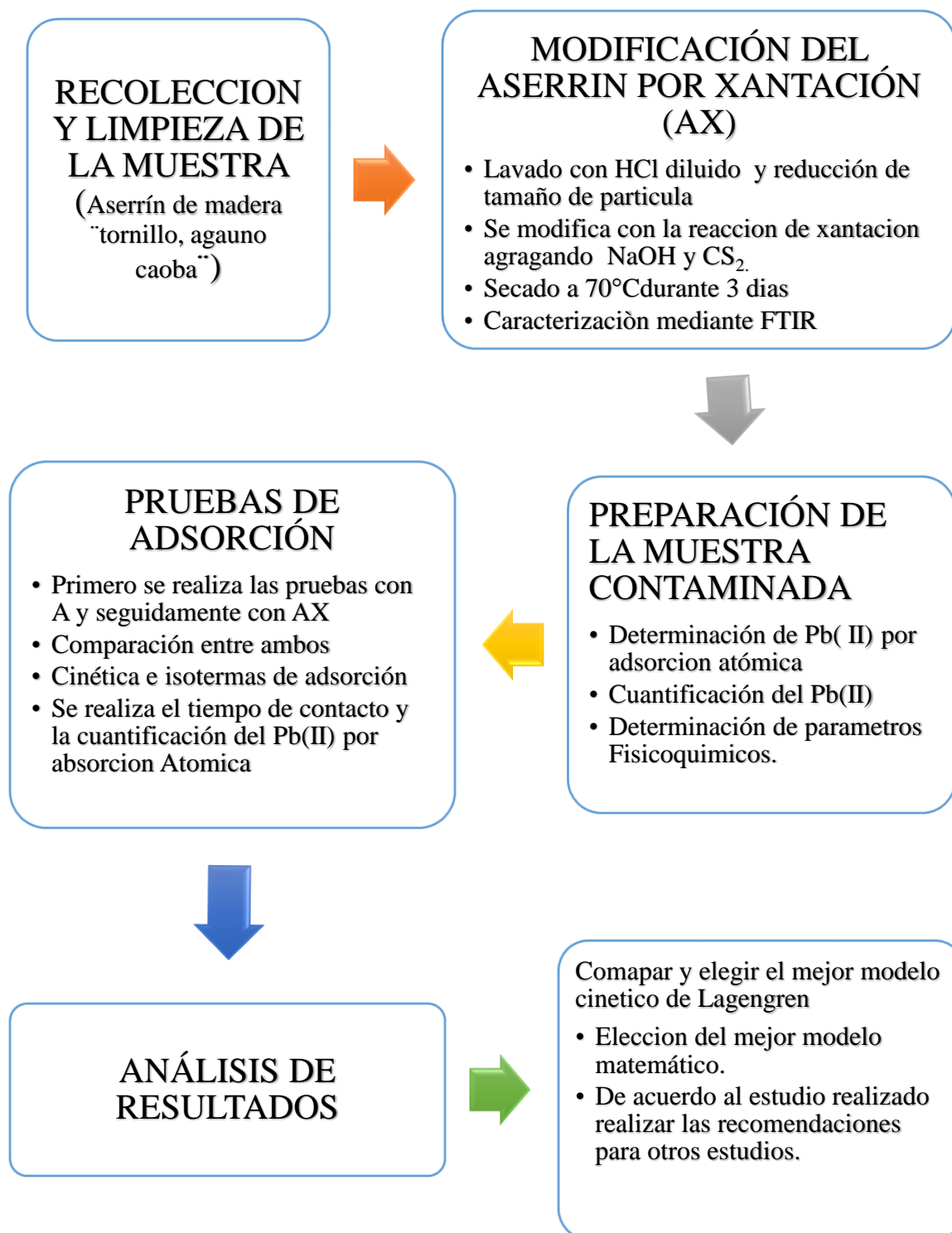
3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

- ICP (*Laboratorios analíticos del sur-Arequipa*)
- Equipo de absorción atómica (*modelo Perkin Elmer AAnalyst 100/300*)
- Equipo para análisis por FTIR (LABINVSERV-UNAS-Arequipa)
- Agitador magnético
- Balanza analítica
- Termómetro
- Potenciómetro (multi parámetro)
- Estufa y Cronómetro.

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.3.1.1. Diagrama de flujo del proceso de desarrollo experimental



3.3.1.2. Preparación del material adsorbente

a) Recolección del material adsorbente

El aserrín de madera se recolectó de la industria maderera de la ciudad de Juliaca la cual se lavó con agua destilada varias veces con el fin de eliminar impurezas.

b) Secado

Luego el aserrín lavado se llevó a secado a 70° C durante 2 días.

c) Triturado

Posteriormente, se muele o pulveriza para reducir el tamaño de partícula, se tamiza para seleccionar un tamaño de partícula 0.5 mm.

d) Pre tratamiento del material

Se lava con HCl 0.5 N a fin de eliminar sustancias de color y posibles contaminantes y con agua destilada hasta pH neutro; luego se seca a 70° C durante 24 h. El producto obtenido se denominó "A". Posteriormente, el aserrín se sometió a reacciones de Xantación la cual se denominó "AX" el cual consiste en agregar Disulfuro de Carbono P.A e Hidróxido de Sodio 0.1 N (relación: 20 ml CS₂/100 ml NaOH) para la activación química de 25 g. de aserrín de tornillo a 60 rpm con tiempo de agitación de 3 h para NaOH y 4 h el caso del CS₂ posteriormente se dejó en reposo 15 h luego se filtró y lavo con agua des ionizada y se estudió su capacidad de adsorción de plomo.

e) Caracterización del bioadsorbente

Se tomó muestras del material adsorbente con el fin de realizar los análisis químicos inorgánicos realizados en el Laboratorio de RH LAB SAC Juliaca-Perú el cual se usó Espectroscopia de absorción atómica por el método de determinación de metales y elementos traza en muestras orgánicas.

3.3.1.3. Preparación de la muestra contaminada

Se muestreó un volumen de 6 L de agua de diferentes partes del Rio Jatun Ayllu, distrito de Ocuwiri del departamento de Puno. Luego la muestra se preserva con 1 mL ácido nítrico (HNO₃) concentrado.

a) Caracterización del agua residual

Las caracterizaciones físicas y químicas de la muestra se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Para analizar Pb^{2+} en la muestra contaminada se realizó por Absorción atómica en el Laboratorio de RHLAB S.A.C. Juliaca-Perú.

3.3.1.4. Proceso de adsorción

a) Efecto del potencial de Hidrógeno (pH) y la dosificación

Este proceso se realizó a un volumen de 50 mL de agua residual filtrado, con agitación de 60 RPM y tiempo de 30 minutos. Tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla N° 4. Constantes del proceso de adsorción del Pb^{2+} .

Constante	Valores	Fuente
Temperatura	Ambiental	Propia
Tiempo de agitación	30 Minutos	Propia
Velocidad de agitación	60 RPM	Loarte y Zanabria (2015)
Volumen	50 mL	Loarte y Zanabria (2015)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5. Evaluación del proceso de adsorción.

VARIABLES		RESULTADOS		
Ph	Dosificación (g)	mg/L de Pb ²⁺	Código de muestra ANEXOS Fig. F.6)	
NIVELES	4,5	0,5	0,1000	AX1
		1,0	0,0800	AX2
		1,5	0,0160	AX3
	6,5	0,5	0,0360	BX1
		1,0	0,0260	BX2
		1,5	0,0230	BX3
	8,1	0,5	0,0270	CX1
		1,0	0,0510	CX2
		1,5	0,0580	CX3

Fuente: Elaboración propia.

Se evaluaron pH y dosis de:

- 4,5 de pH con una dosis de 0,5 g, 1,0 g, 1,5 g de bioadsorbente (Aserrín Xantado). Para manejar el pH, se utilizó NaOH de concentración 0,25 N y HNO₃ de concentración de 1 N.
- 6,5 de pH con una dosis de 0,5 g, 1,0 g, 1,5 g de bioadsorbente (Aserrín Xantado). Para manejar el pH, se utilizó NaOH de concentración 0,25 N y HNO₃ de concentración de 1 N.
- 8,1 de pH con una dosis de 0,5 g, 1,0 g, 1,5 g de bioadsorbente (Aserrín Xantado). Para manejar el pH, se utilizó NaOH de concentración 0,25 N y HNO₃ de concentración de 1 N.

b) Efecto del tiempo de residencia

Los tiempos a evaluar fueron: 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120 minutos, tal como se muestra en la Tabla 6

Tabla N° 6. Evaluación del tiempo de contacto del adsorbente con la muestra contaminada.

	Variable		Resultados
	t (min)	mg/L de Pb ²⁺	Código de muestra (Anexo Fig. F.6)
Niveles	0	0,5600	Mi
	5	0,0610	BT1
	10	0,0430	BT2
	20	0,0270	BT3
	30	0,0160	BT4
	40	0,0150	BT5
	60	0,0070	BT6
	90	0,0010	BT7
	120	0,0020	BT8

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 9. Adsorción de Pb²⁺ del agua con Aserrín Xantado.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. DETERMINACIÓN DE LA ADSORCIÓN DEL Pb²⁺

Para determinar la cantidad de adsorción del Plomo, se analizó las pruebas experimentales por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), en el laboratorio de

RHLAB S. A. C. Luego con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de adsorción con la Ec. 3.

$$\text{Porcentaje de Plomo: (\%)} = \left(\frac{C_i - C_e}{C_i} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

C_i y C_e : es la concentración inicial y en equilibrio del metal en la solución respectivamente (mg/L).



Figura N° 10. Muestras de agua tratada y equipo de absorción atómica.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

Después de llevar a cabo el proceso de adsorción, se evaluó la cinética de adsorción que se utilizó para establecer una relación entre el sorbente (*Aserrín Xantado*) y el sorbato (Pb^{2+}), mediante el ajuste en los modelos cinéticos; este proceso dependerá de la afinidad y características del sorbente y el sorbato.

Los modelos matemáticos que se utilizaron para determinar el mejor modelo matemático que ajusten a la cinética de adsorción del Pb^{2+} , fueron: El modelo pseudo-primer orden o ecuación de Lagergren y el modelo pseudo-segundo orden.

3.3.4. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Se evaluaron las isotermas de Langmuir y Freundlich, para encontrar el mejor modelo matemático de las isotermas que adecuen de la mejor manera a este proceso.

Por otro lado, también se desarrolló el diseño factorial estadístico en base a las 3 variables pH, Tiempo y cantidad de adsorbente para realizar la matriz de diseño $2^k = 8$ la cual determinó su modelo matemático ajustado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ASERRÍN (ADSORBENTE)

Se puede ver a continuación el contenido de metales en el Aserrín Xantado (ANEXO I Fig. D.4.), Estructura de los análisis del Espectro FTIR del Aserrín (a) y Aserrín Xantado 1826 (b) realizados en LABINVSERV- UNSA- AREQUIPA.

Los espectros FTIR de A y AX se muestran en la Figura 11. En el espectro de A, los picos de absorción alrededor de 3339.92 cm^{-1} corresponden a vibraciones de tensión de O-H, debido a enlaces de hidrógeno inter e intra-molecular de los compuestos poliméricos (asociaciones macromoleculares), tales como alcoholes y fenoles presentes en la celulosa y la lignina (Torres *et al.*, 2013). Los picos a 2908.78 cm^{-1} se atribuyen a la tensión C-H de los grupos alcanos debida a los grupos $-\text{OCH}_3$ y $-\text{CH}_2\text{OH}$ presentes en la celulosa y la lignina. Los picos a 1625.3 , 1602 , 1505 , 1454 y 1425 cm^{-1} se deben a vibraciones de tensión de los enlaces C=C de los grupos aromáticos de la lignina. Los picos a 1040 , 1050 , 1160 , 1242 y 1368 cm^{-1} se asignan a la torsión o deformación O-H y vibraciones de tensión de C-O, de alcoholes primarios y secundarios; así como a los grupos fenólicos. El pico a 667 cm^{-1} se atribuye al balanceo de los grupos C-H. Algunos cambios se observaron en el espectro de AX con respecto al de A. Por ejemplo, los picos debidos a la vibración de tensión de los grupos O-H, CH_2 y CH_3 son menos intensos y más alargados que en A. Estas diferencias indican que los grupos hidroxilo se han combinado con los grupos CS_2 . La presencia de los grupos Xantatos en el AX se han identificado por la aparición de nuevos picos a 640 , 892.87 y 1203.16 cm^{-1} corresponden a $\gamma\text{C-S}$, $\gamma\text{C=S}$ y $\gamma\text{S-C-S}$; esto concuerda con lo reportado por (Panda *et al.*; 2008), quien identificó la presencia de grupos Xantatos en cascara de *Lathyrus Sativus* por los picos aparecidos a 661.5 , 1080.5 , 1163 y a 1200 a 1250 cm^{-1} ; algo similar también fue reportado por Vásquez *et al.* (2015) quien estudio la adsorción de plomo en carbón Xantado, ellos encontraron que los picos asociados a la presencia de los grupos Xantatos se hallaban a 610 , 1033 y 1242 cm^{-1} .

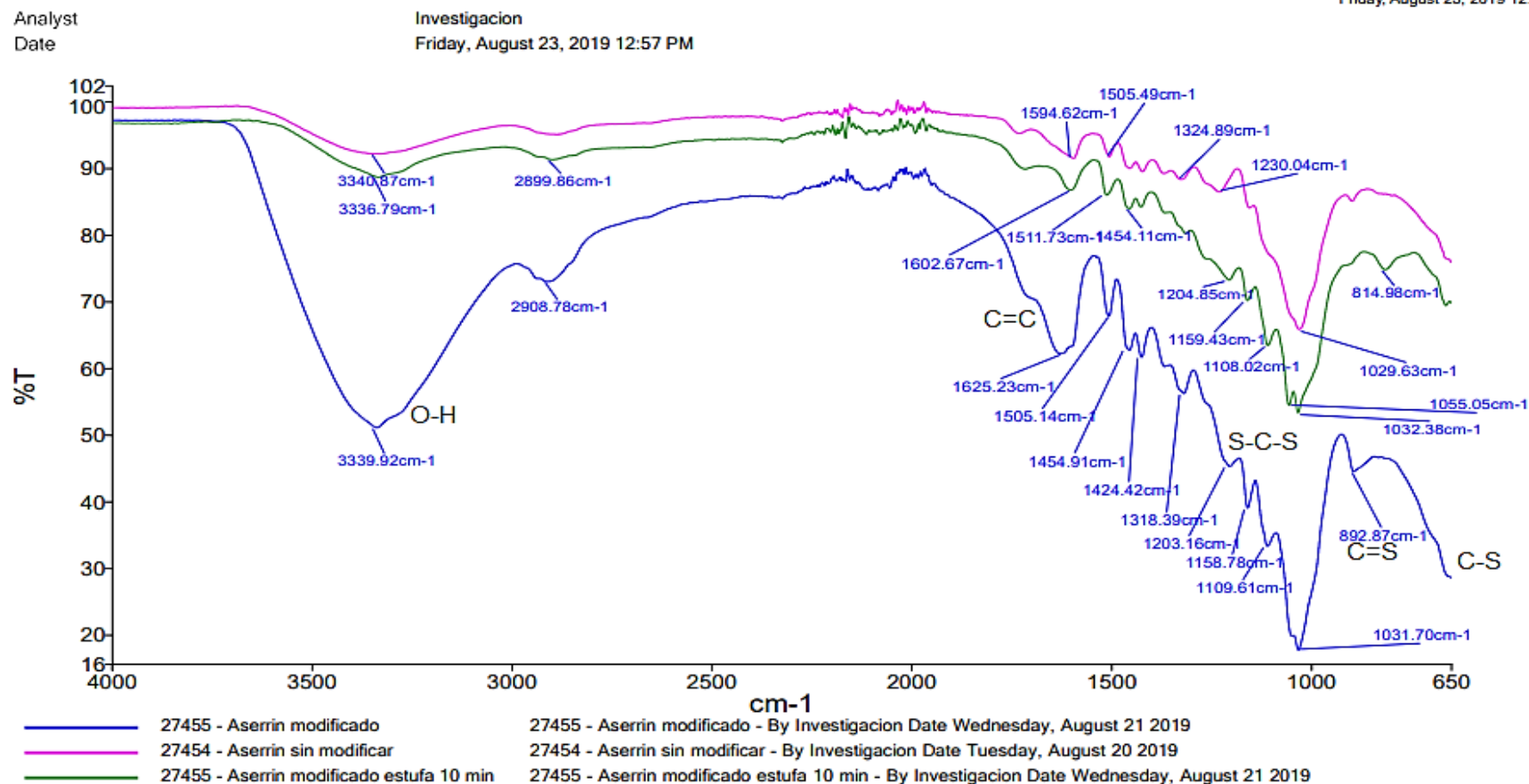


Figura N° 11. Estructura del Espectro FTIR del Aserrín (sin modificar) y Aserrín Xantado (modificado).

Fuente: LABINVSERV- UNSA- AREQUIPA.

La caracterización del aserrín, era necesario antes de llevar a cabo el proceso de adsorción para evitar resultados negativos por causa de la saturación (sitios activos ocupados).

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA (ADSORBATO)

Tabla N° 7. Características físico químicas del agua a tratar.

Características Físico químicas del agua en estudio					
Parámetros	Unidades	Resultado	Valor máximo	Unidades	
pH	-	6,3	6,5 – 8,5	-	
Conductividad eléctrica	μs/cm	429	1600	μs/cm	
S.T.D.	mg/L	286	1000	mg/L	
Dureza total	mg/L	791,2	500	mg/L	
Cloruros	mg/L	342	250	mg/L	
D.B.O.	mg/L	63,49	5	mg/L	
D.Q.O.	mg/L	153	20	mg/L	
Calcio	mg/L	137,3	200	mg/L	
Magnesio	mg/L	108,852	150	mg/L	

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	-	-
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5

Figura N° 12. Gráfico de comparación de resultados de los análisis con los límites máximos permisibles del ECA para el agua, Categoría 1, subcategoría A - A1 establecidos por el decreto supremo N° 004-2017-MINAM.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar la Tabla N°7, se puede ver que los resultados de los parámetros analizados en el agua, están fuera del rango de los límites máximos permisibles del ECA, establecidos por el decreto supremo N° 004-2017-MINAM - PERÚ, por ende se demuestra que es una agua muy contaminada, en especial por metales pesados que presenta. Para el consumo de esta agua, se necesita un tratamiento avanzado. Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como per cloración, micro filtración, ultra filtración, nana filtración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

4.3. PROCESO DE ADSORCIÓN

Tabla N° 8. Curva de calibración para el análisis de Pb por espectroscopia de absorción atómica.

Curva de calibración	
Solución estándar de Pb ²⁺ (mg/L)	Absorbancia
0,000	0,000
0,500	0,008
1,000	0,015
5,000	0,069

Fuente: Elaboración propia.

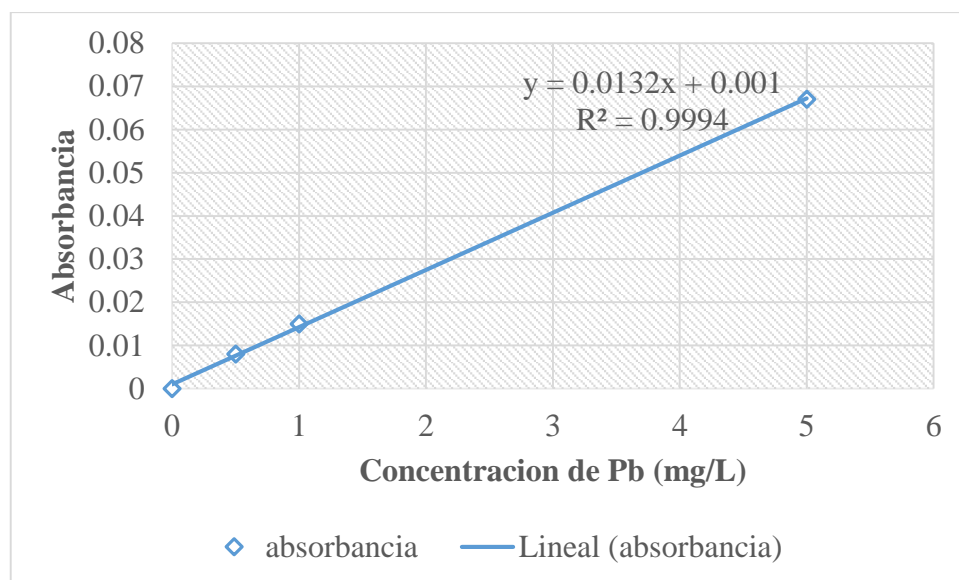


Figura N° 13. Gráfico de la curva de calibración.

Fuente: Elaboración propia.

La curva de calibración se realizó con el objetivo de analizar Pb²⁺. La Figura 20 muestra el comportamiento de la absorbancia respecto a la concentración del Pb²⁺ (mg/L); se puede ver que cuando la baja la absorbancia, la concentración del Plomo aumenta, esto se debe a la caída de la pendiente.

Tabla N° 9. Comportamiento de la capacidad de adsorción (mg/L) en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.

masa (g)	Concentración del Pb (mg/L) a PH 4.5	Concentración del Pb (mg/L) a PH 6.5	Concentración del Pb (mg/L) a PH 8.1
0.0	0.5600	0.5600	0.5600
0.5	0.1000	0.0360	0.0270
1.0	0.0800	0.0260	0.0510
1.5	0.0160	0.0230	0.0580

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados que se muestran en la Tabla N°9, donde se muestran la masa del bioadsorbente y las concentraciones de Pb^{2+} a diferentes pH; notándose que la concentración del plomo baja a medida que la masa del bioadsorbente aumenta la cual es claramente ilustrado en la Figura 14, esto se produce debido a que hay mayor cantidad de sitios activos del bioadsorbente.

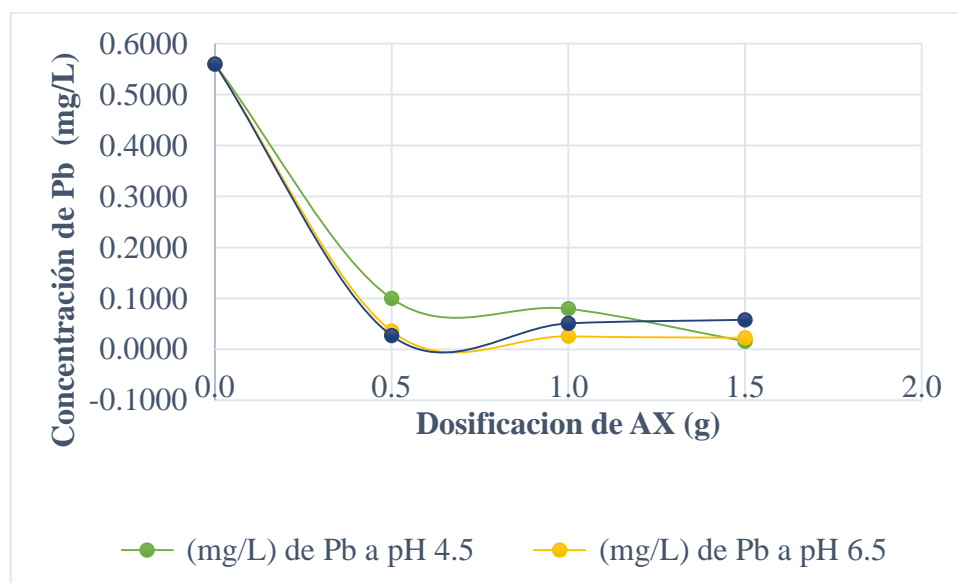


Figura N° 14. Gráfico del comportamiento de la capacidad de adsorción (mg/L) en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14 se puede observar la capacidad de adsorción varía en forma considerable en función del pH alrededor de 4 a 8 y dando fe y comparando con (Núñez, 2015) se

puede verificar que a pH bajo de entre 4.5 y 5 hay mayor remoción dependiendo de la masa de bioadsorbente con lo cual se da validez de este trabajo.

Tabla N° 10. Comportamiento de la capacidad de adsorción (%) en función a la masa del bioadsorbente y pH.

Masa del bioadsorbente (g)	% de adsorción de Pb ²⁺ a pH	% de adsorción de Pb ²⁺ a pH	% de adsorción de Pb ²⁺ a pH
	4,5	6,5	8,1
0	0	0	0
0.5	82	94	95
1	86	95	91
1.5	97	96	90

Fuente: Elaboración propia.

Se determinaron los porcentajes de adsorción del Plomo utilizando diferentes masas de bioadsorbente a diferentes pH. En la En la Tabla N°10 se aprecia que el porcentaje de remoción máximo alcanzado fue de 97%, para un peso de 1,5 g a un pH de 4,5 y un tiempo de 30 minutos, conforme aumentó la masa del bioadsorbente fue disminuyendo la concentración de Pb²⁺ a la vez disminuyendo a mayor pH generando porcentajes de 97; 96 y 90 % para pH de 4,5; 6,5 y 8,1 respectivamente, tal como se muestra en la Figura N°15. Se puede interpretar que la disminución en cuanto a los porcentajes de remoción se debe a que los sitios activos del Aserrín Xantado son ocupados rápidamente por el analito.

Con la investigación de (Nuñez, 2015) que realizó ensayos con pesos de adsorbente empleando una relación 0.335 aserrín/NaOH p/p y 1.125 CS₂/aserrín p/p. Los resultados mostraron que la mejor remoción de Plomo fue a pH 5 para ambos materiales con porcentajes de adsorción de 89% y 98% de soluciones de 100 ppm de Pb²⁺ y dosis de 10 ml/50mg de adsorbente respectivamente. Se puede validar los resultados de este trabajo.

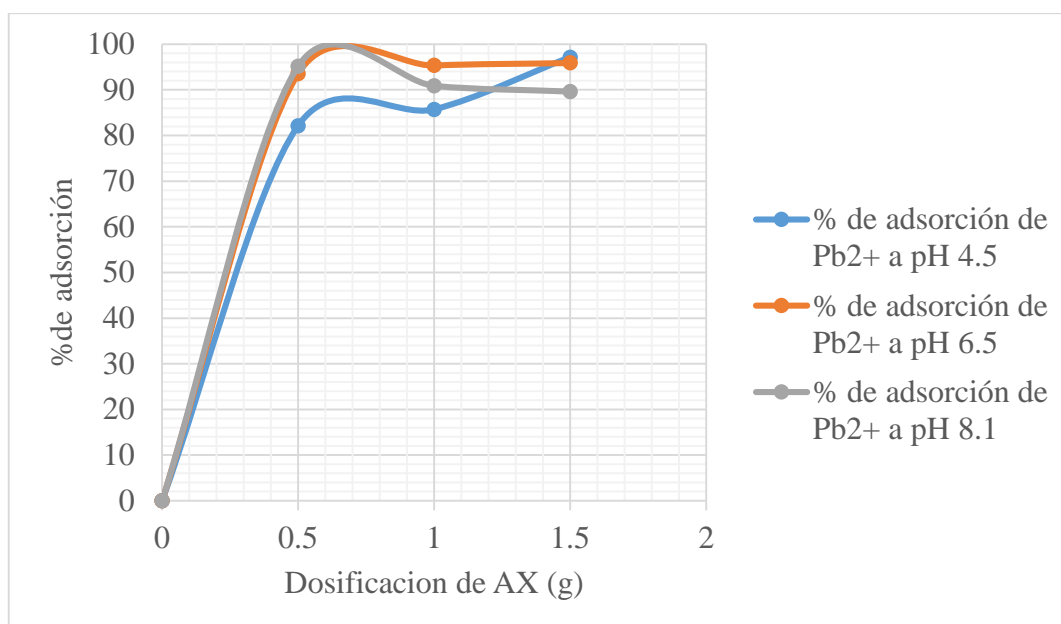


Figura N° 15. Gráfico del comportamiento de la capacidad de adsorción en función a la masa del bioadsorbente (g) y pH.

Fuente: Elaboración propia

Con la investigación de (Nuñez, 2015) que realizó ensayos con pesos de adsorbente empleando una relación 0.335 aserrín/NaOH p/p y 1.125 CS₂/aserrín p/p. Los resultados mostraron que la mejor remoción de Plomo fue a pH 5 para ambos materiales con porcentajes de adsorción de 89% y 98% de soluciones de 100 ppm de Pb²⁺ y dosis de 10 ml/50mg de adsorbente respectivamente.

Se puede validar los resultados de este trabajo.

4.4. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

Los tiempos a evaluar fueron de 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90 y 120 minutos para un volumen de 50 mL de muestra contaminada de concentración igual a 0,560 mg/L de Pb²⁺, a un pH de 4,5. Se usó dosis de 1,5 g de bioadsorbente obteniendo como resultados que se muestran en la Tabla N°11.

Tabla N° 11. Comportamiento de la concentración y el porcentaje de adsorción respecto al tiempo.

Tiempo (min)	Concentración de Pb^{2+} (mg/L)	% de Remoción de Pb^{2+}
0	0.5600	0.000
5	0.0610	89.107
10	0.0430	92.321
20	0.0270	95.179
30	0.0160	97.143
40	0.0150	97.321
60	0.0070	98.750
90	0.0010	99.821
120	0.0020	99.643

Fuente: Elaboración propia.

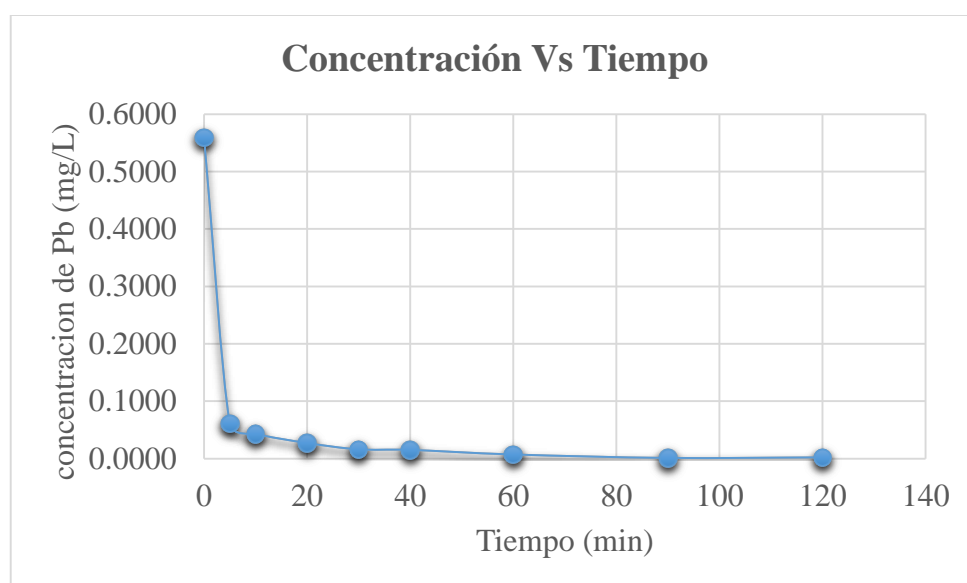


Figura N° 16. Gráfico del comportamiento de la concentración respecto al tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°16 y 17 se observa que la adsorción en los 5 primeros minutos es moderadamente rápida, alcanzando una concentración de 0,0610 mg/L de Pb^{2+} esto es equivalente al 89,107 % y la mayor adsorción se alcanza en 90 minutos con una concentración de 0,0010 mg/L de Pb^{2+} esto es el 99,821 %; notándose en la Figura N°16 que hay una clara muestra de haberse alcanzado el equilibrio y saturándose a 120 minutos,

esto se debe a la gran cantidad de especies químicas disueltas en la muestra contaminada, que generan resistencia a la transferencia de masa de Pb^{2+} sobre el adsorbente.

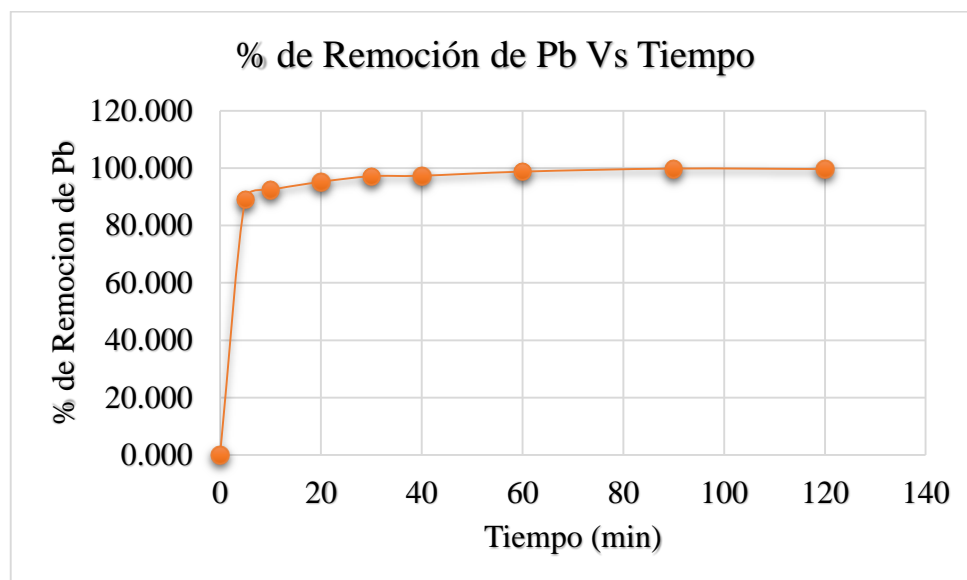


Figura N° 17. Gráfico del comportamiento del % de adsorción del Pb^{2+} respecto al tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar estos resultados se pueden validar con la investigación de (Núñez, 2015) que según sus resultados mostraron que la mejor remoción de plomo fue a pH 5 para ambos materiales con porcentajes de adsorción de 89% y 98% de soluciones de 100 ppm de Pb^{2+} y dosis de 10 ml/50mg de adsorbente respectivamente. Los estudios cinéticos indicaron que el proceso de adsorción puede alcanzar el equilibrio alrededor de 120 min siguiendo una cinética de pseudo-segundo orden para ambos materiales.

Cálculo del equilibrio de adsorción a partir de la Ecuación 1.

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{w} \times V$$

Datos:

$$C_0 \text{ de } Pb^{2+} = 0,560 \text{ mg/L}$$

$$C_e \text{ o } C_f \text{ de } Pb^{2+} = 0,0020 \text{ mg/L}$$

$$V = 50 \text{ mL} = 0,05 \text{ L}$$

Masa del adsorbente (w)= 1,5 g

$$q_e = \frac{0,56 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,002 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1,5 \text{ g}} \times 0,05\text{L}$$

$$q_e = 0,0186 \frac{\text{mg de Pb}^{2+}}{\text{g de bioadsorbente}}$$

4.4.1. Modelo cinético de primer orden de Lagergren

Modelo cinético	Ecuación diferencial	Ecuación integral
Expresión de primer orden de Lagergren	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303}t$ $v_1 = k_1 \cdot q_e$
donde q es la cantidad del contaminante adsorbida en el biosorbente en el tiempo t ; k_1 es la tasa constante de Lagergren de biosorción de primer orden ; v_1 es la tasa inicial de biosorción (Lagergren, 1898)		

Tabla N° 12. Resultados del modelo cinético de primer orden de Lagergren.

Y=a+bX						
q_t (mg/g)	X t(min)	Y log($q_e - q_t$)	a log(q_t)	b - $k_1/2.303$	k_1	v_1
0.0166	5	-2.7033	-1.7790	-0.1849	0.4257	0.0071
0.0172	10	-2.8601	-1.7636	-0.1096	0.2525	0.0044
0.0178	20	-3.0723	-1.7504	-0.0661	0.1522	0.0027
0.0181	30	-3.3188	-1.7415	-0.0526	0.1211	0.0022
0.0182	40	-3.3500	-1.7407	-0.0402	0.0926	0.0017
0.0184	60	-3.7447	-1.7344	-0.0335	0.0772	0.0014

Fuente: Elaboración propia.

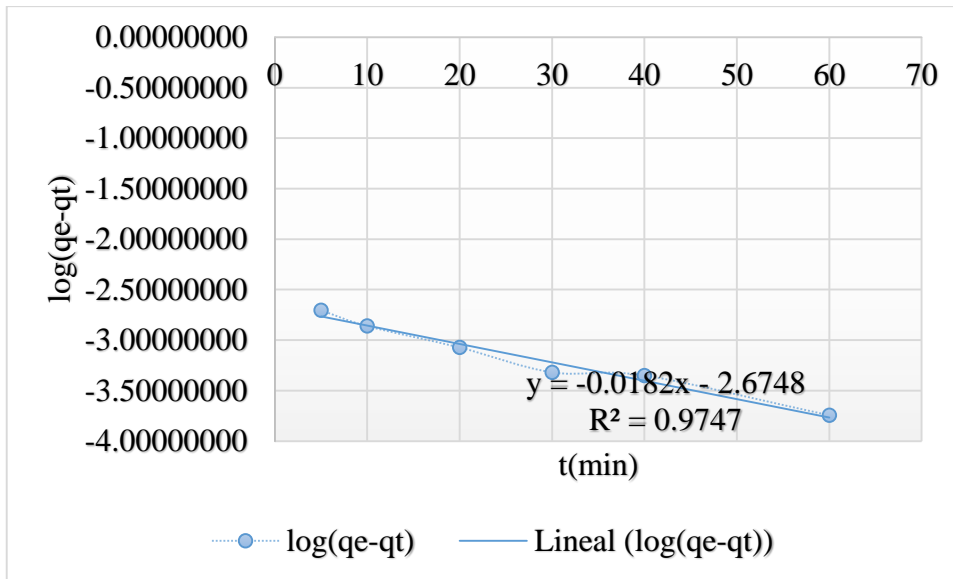


Figura N° 18. Gráfico del modelo cinético de primer orden de Lagergren (Linealizada).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°18 y en la Tabla N°12 se muestran la cinética de primer orden de Lagergren linealizada y los parámetros cinéticos respectivamente. Los valores de k_1 y v_1 obtenidos fueron de $0,0772 \text{ min}^{-1}$ y $0,0014 \text{ mg/g*min}$ respectivamente. Se observa que al aumentar el tiempo de contacto, se alcanza la concentración en equilibrio (tiempo de saturación del adsorbente), también se puede observar que cuando se incrementa el valor de la constante k_1 , por otra parte se puede ver que al aplicar este modelo se puede observar que la ecuación de la recta presentada en la figura tiene una tendencia a ser ideales ya que su coeficiente de correlación ($r^2 = 0,9747$) se acerca a 1.

4.4.2. Modelo cinético de pseudo segundo orden

Ecuación de pseudo-segundo orden	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + t}$ $v_2 = k_2 \cdot q_e^2$
donde k_2 es la tasa constante de biosorción de pseudo-segundo orden ; v_2 es la tasa inicial de biosorción (Ho y Mc Kay, 1999)		

Tabla N° 13. Resultados del modelo cinético de Pseudo segundo orden.

Y=a+bX						
qt (mg/g)	X t(min)	Y t/qt	a 1/k₂*q_e²	b 1/q_e	k₂	v₂
0.01663	5	300.6012	31.7840	53.7634	90.9422	0.0315
0.01723	10	580.2708	42.6364	53.7634	67.7944	0.0235
0.01776	20	1125.7036	50.4347	53.7634	57.3118	0.0198
0.01813	30	1654.4118	41.5085	53.7634	69.6365	0.0241
0.01816	40	2201.8349	51.2972	53.7634	56.3482	0.0195
0.01843	60	3254.9729	29.1664	53.7634	99.1039	0.0343
0.01863	90	4830.0537	-8.6560	53.7634	-333.9307	-0.1155

Fuente: Elaboración propia.

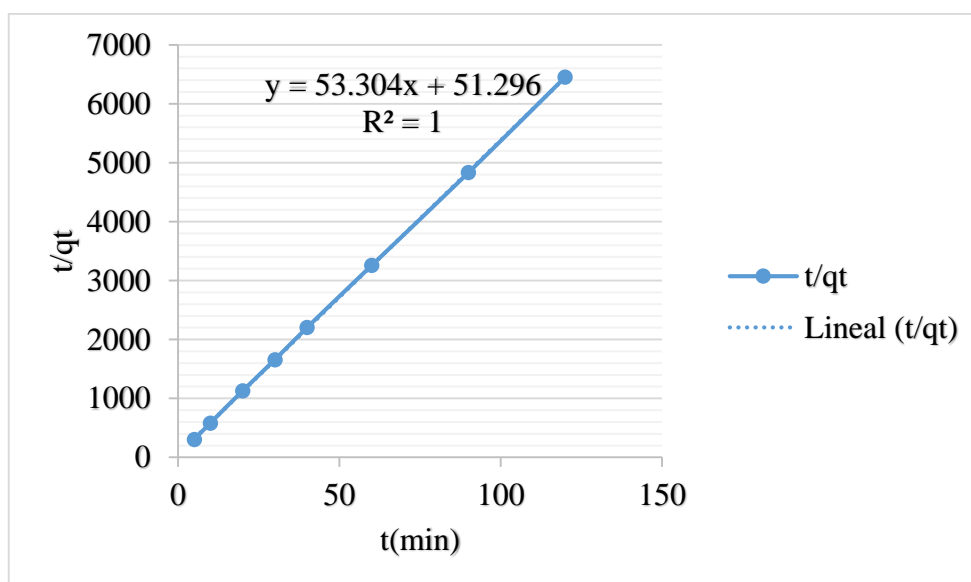


Figura N° 19. Gráfico del modelo cinético de Pseudo segundo orden.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°13 se muestran los resultados calculados de la ecuación cinética de Pseudo segundo orden, así como sus parámetros de constante de velocidad y la velocidad de adsorción para cada tiempo. Los máximos valores de k_2 y v_2 son de 99,104 g/mg*min y 0,034 mg/g*min. En la Figura N°19 se observa los datos ajustados al modelo cinético de Pseudo segundo orden, con $r^2 = 1$.

Tabla N° 14. Parámetros cinéticos del modelo de primer orden de Lagergren y Pseudo segundo orden.

Parámetros cinéticos					
q_t (mg/g)	t (min)	Primer orden de Lagergren		Pseudo segundo orden	
		k_1 (min^{-1})	v_1 (mg/g*min)	k_2 (g/mg*min)	v_2 (mg/g*min)
0.0166	5	0.4257	0.0071	90.9422	0.0315
0.0172	10	0.2525	0.0044	67.7944	0.0235
0.0178	20	0.1522	0.0027	57.3118	0.0198
0.0181	30	0.1211	0.0022	69.6365	0.0241
0.0182	40	0.0927	0.0017	56.3482	0.0195
0.0184	60	0.0772	0.0014	99.1039	0.0343
0.0186	90	-4.8751	-1.7305	-333.9307	-0.1155
Coefficiente de correlación (R^2)			0,9747		1,000

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 14 se puede observar la comparación de los parámetros cinéticos, producto de los ajustes en los modelos matemáticos de la cinética de adsorción. Notándose que se ajusta de mejor manera al modelo cinético de Pseudo segundo orden con un factor de correlación (r^2) de 1. Comparando con la investigación de Quispe (2016) con aserrín de pino (*pinus sylvestris*) la remoción a pH 4 siendo 40,5 %; 25,1 %; 15,9 % respectivamente y a pH 7 el porcentaje de remoción es del 99,8%; del 99,8% y del 82,3% respectivamente deja entender que la cinética de adsorción de ambos materiales presenta un comportamiento similar al alcanzado por la salmuera siguiendo también el modelo cinético de Pseudo segundo orden con una remoción alta también tendrá un coeficiente de correlación que tiende ser 1 por lo tanto se podría decir que los resultados de este trabajo son correctos.

4.5. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Los mecanismos de adsorción son de vital importancia en el diseño de sistemas de adsorción, debido a que indican qué cantidad hay de iones metálicos y cómo estos se encuentran particionados entre el adsorbente y la fase líquida. Cuando el ion metálico se pone en contacto con el adsorbente, la concentración del metal en la superficie se

comienza a incrementar hasta que se alcanza un equilibrio dinámico, es en este punto que la distribución del ion metálico entre las fases sólida y líquida se encuentra claramente definida.

Tabla N° 15. Datos de la isoterma del Aserrín Xantado.

Concentración del Pb ²⁺ en agua (mg/L)	Concentración del Pb ²⁺ adsorbido (Ce)	q _e (x/m)	C _e /(x/m)
0.5600	0,0000	0,0000	-
0.0610	0,4990	0.0166	3.6681
0.0430	0,5170	0.0172	2.4957
0.0270	0,5330	0.0178	1.5194
0.0160	0,5440	0.0181	0.8825
0.0150	0,5450	0.0182	0.8255
0.0070	0,5530	0.0184	0.3798
0.0010	0,5590	0.0186	0.0537
0.0020	0,5580	0.0186	0.1075

Fuente: Elaboración propia.

Con los puntos de la Tabla N° 15 se construyó la isoterma del Aserrín Xantado.

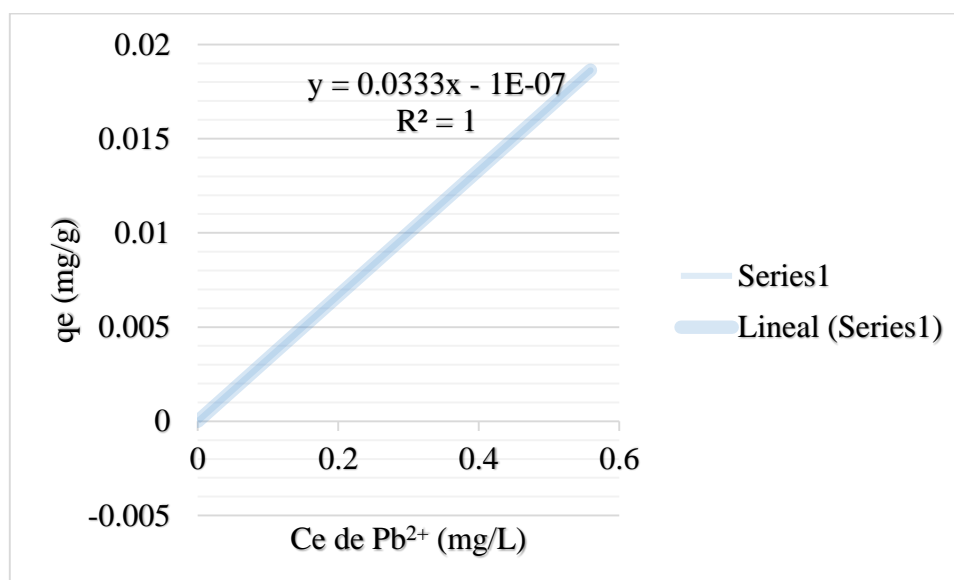


Figura N° 20. Gráfico de la isoterma del Aserrín Xantado.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1. Modelo Langmuir

Empleando la ecuación 13, se hizo el ajuste a la isoterma de Langmuir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bQ_0} + \frac{C_e}{Q_0}$$

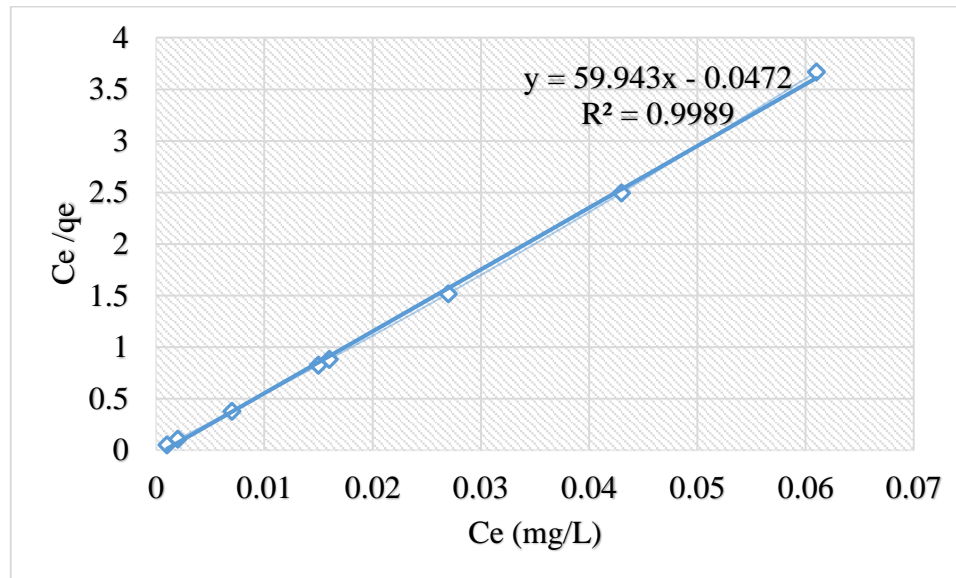


Figura N° 21. Gráfico de la isoterma de Langmuir del Aserrín Xantado.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21 se aprecia el gráfico correspondiente al modelo matemático de los datos experimentales reales por medio de la isoterma de Langmuir, donde indica que la superficie del adsorbente es casi uniforme, es decir todos los sitios de adsorción son equivalentes y las moléculas adsorbidas no interaccionan. La máxima adsorción solo se forma en monocapa, lo cual implica que las moléculas del adsorbato no se depositen sobre otras, ya adsorbidas; solo lo hacen en la superficie libre del adsorbente, obteniendo un coeficiente de correlación (r^2) de 0,9989. Con base al resultado se calculó la constante de Langmuir (b) que es de $-1269,4093$ y la concentración del soluto absorbido por unidad en peso de adsorbente requerido para la capacidad de mono capa en la superficie (Q_e) que es de 0,01669. Siendo su modelo matemático así:

$$q_e = \frac{-(0,01669)(1269,4093)C_e}{1 - 1269,9788C_e}$$

4.5.2. Modelo de Freundlich

Empleando la ecuación 15, se hizo el ajuste a la isoterma de Freundlich.

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

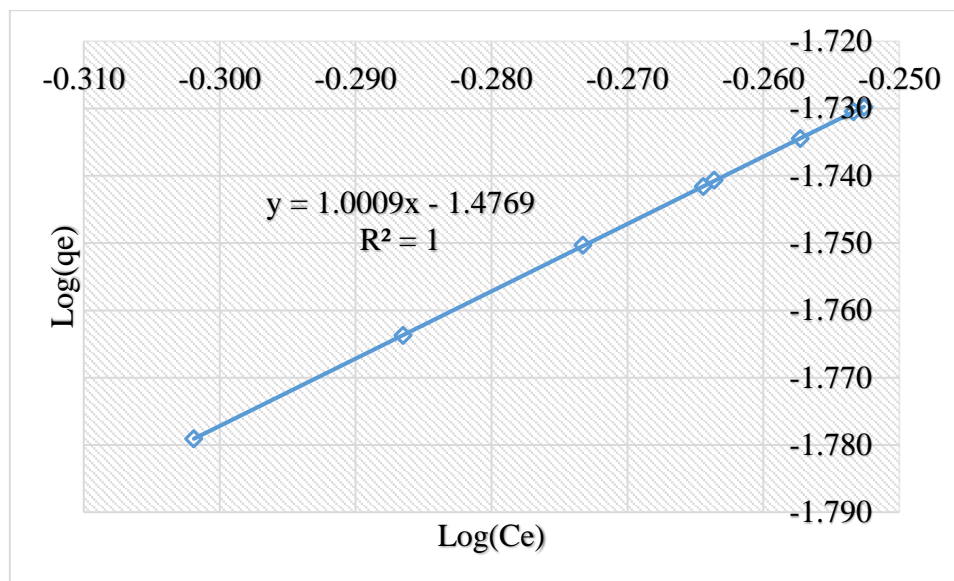


Figura N° 22. Gráfico de la isoterma de Freundlich del Aserrín Xantado.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22 se aprecia correspondiente al modelo matemático de los datos experimentales por medio de la isoterma de Freundlich en donde se obtuvo un coeficiente de correlación (r^2) de 1, coeficiente de Freunlich (K_f) de 0,0334 y n igual a 1. Siendo su modelo matemático así:

$$\frac{C_e}{q_e} = 0,0334C_e$$

Comparando con la investigación de (Nuñez, 2015) que obtuvo como resultados un factor de correlación r^2 de 0,981, parámetros de K_f igual a 9, 020 y n igual a 2,073 para la isoterma de Freundlich.

Tabla N° 16. Parámetros de Langmuir y Freundlich.

Adsorbente	ISOTERMAS DE ADSORCIÓN					
	Langmuir			Freundlich		
AX (Aserrín Xantado)	Q_e (mg/g)	b	R^2	K_f (L/g)	n	R^2
	0,0167	-1269,4093	0,9989	0,0334	1	1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se aprecia la comparación de las isothermas de Langmuir y Freundlich que fue evaluado debido a que describen superficies del adsorbente; notándose que se ajusta de mejor manera a la isoterma de Freundlich, ya que relaciona la concentración del soluto en la superficie del adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto.

4.6. DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO POR EXPERIMENTACIÓN Y ESTADÍSTICA

4.6.1 Diseño factorial 2^k con 3 réplicas en el punto central de diseño

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, el efecto de sus interacciones y se obtiene un modelo matemático empírico, que constituye la base para un proceso posterior de optimización.

Por lo tanto: El número total de experimentos a llevarse a cabo viene definido por la relación:

$$N = 2^k$$

Donde:

N: Numero de Experimentos.

K: Numero de Variables.

Por lo que este diseño estadístico será utilizado en las dos etapas de la investigación por adecuarse a los ensayos a realizar.

4.6.2 Influencia de las variables: Tiempo de adsorción, concentración de soluto y pH

El modelo factorial asume cierta linealidad y debe predecir adecuadamente todos los puntos de diseño, incluyendo el central. Por lo que elegimos 3 variables que según muestras pruebas exploratorias intervienen y mejoran la recuperación de Pb con Aserrín Xantado. Estas variables son: Tiempo, concentración de soluto y pH.

Tabla N° 17. Variables naturales-datos del diseño experimental

SIMBOLO	NOMBRE DE LOS FACTORES	UNIDAD	X min. (-)	X máx. (+)
X1	pH	Escalar	4.5	8.1
X2	TIEMPO	min	30	90
X3	CANTIDAD DE ADSORVENTE	g	0.5	1.5

Fuente: Elaboración propia en función a máximos y mínimos.

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de adsorción del Plomo recuperado (ver resultados en la tabla N° 13), el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\% \text{Adsorción} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} * 100$$

Donde:

%Adsorción = porcentaje de remoción de Pb.

C₀ = Concentración inicial de Pb

C_f = Concentración final de Pb.

4.7 DISEÑO FACTORIAL EXPERIMENTAL

Luis F. Miranda 1998, una metodología a seguir en el desarrollo de un modelo matemático empleando el diseño de experimentos del tipo factorial, es el siguiente:

➤ **Formulación y propósito**

Para un diseño factorial 2^3 para tres factores o variables originales que son pH, temperatura y tiempo, y cada factor con dos niveles $k = 2$, se tiene el siguiente modelo matemático:

Ecuación de regresión

El modelo de la ecuación es:

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

Donde:

Y = Variable respuesta

X₁ = pH

X₂ = Tiempo de adsorción

X₃ = Cantidad de adsorbente

b₀, b₁, b₂, b₃, b₄, b₅, b₆ y b₇ coeficientes de correlación lineal.

➤ **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 N° 18. Identificación de variables y niveles de operación

FACTOR	UNIDAD	NIVEL	NIVEL	PUNTOS GENERALES
		INFERIOR	SUPERIOR	
		(-)	(+)	(0)
pH	Escalar	4,5	8,1	6,3
TIEMPO	min	30	90	60
CANTIDAD DE ADSORVENTE	g	0.5	1.5	1

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Matriz de diseño**

Determinamos con lo anterior el número de pruebas experimentales a realizar (combinando los valores máximo y mínimo de tres factores establecidos). Para un diseño 2³ se tiene 8 pruebas experimentales. Así se tiene las siguientes combinaciones en la siguiente tabla.

Tabla N° 19. Matriz de diseño factorial $2^3 = 8$

N°	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	% de adsorción de Pb
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y1=82.1429
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y2=95.1786
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y3=95.1786
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y4=96.4286
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y5=97.1429
6	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	Y6=98.2143
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y7=99.1072
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y8=98.3929
9	0	0	0	0	0	0	0	Y9=96.3393
10	0	0	0	0	0	0	0	Y10=96.8571
11	0	0	0	0	0	0	0	Y11=96.7411

Fuente: Elaboración propia

➤ **Evaluación de resultados**

De acuerdo al procedimiento de análisis factorial, se procede con los siguientes cálculos utilizando el software STATHGRAFIC:

La ecuación de regresión ajustada a los datos es la siguiente:

Tabla N° 20. Coeficiente de regresión para Adsorción de plomo

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	49.1143
A: pH	4.8139
B: Tiempo (min)	0.3664
C: Dosis (g)	24.1675
AB	-0.0312
AC	-1.9194
BC	-0.1020

Fuente: Elaboración propia

- La ecuación del modelo matemático ajustado es:

$$\text{Adsorción de plomo (Y)} = 49.1143 + 4.8139 \cdot \text{pH} + 0.3664 \cdot \text{Tiempo} + 24.1675 \cdot \text{Dosis} - 0.0312 \cdot \text{pH} \cdot \text{Tiempo} - 1.9194 \cdot \text{pH} \cdot \text{Dosis} - 0.102 \cdot \text{Tiempo} \cdot \text{Dosis}$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Tabla N° 21. Efectos estimados para Adsorción de plomo (%)

<i>Efecto</i>	<i>Estimad</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
<i>o</i>			
promedio	95.6018	0.629815	
A: pH	3.69	1.4770	1.0
B: Tiempo (min)	4.085	1.4770	1.0
C: Dosis (g)	5.955	1.4770	1.0
AB	-3.365	1.4770	1.0
AC	-3.455	1.4770	1.0
BC	-3.06	1.4770	1.0

Fuente: Elaboración propia

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

La Tabla N°21 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. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Tabla N° 22. Análisis de Varianza para Adsorción de plomo.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>G l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:pH	27.2322	1	27.2322	6.24	0.0481
B:Tiempo (min)	33.3745	1	33.3745	7.65	0.0402
C:Dosis (g)	70.924	1	70.924	16.25	0.0157
AB	22.6464	1	22.6464	5.19	0.0850
AC	23.874	1	23.874	5.47	0.0795
BC	18.7272	1	18.7272	4.29	0.1070
Error total	17.4534	4	4.36334		
Total (corr.)	214.232	1			
		0			

Fuente: Elaboración propia.

R-cuadrada = 91.853 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 79.6326 por ciento

Error estándar del est. = 2.0889

Error absoluto medio = 1.2050

Estadístico Durbin-Watson = 2.67308 (P=0.7575)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.4523

La Tabla N° 22 muestra la partición de la variabilidad de Adsorción de plomo 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, 1 efectos tienen un 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 91.853% de la variabilidad en Adsorción de plomo. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es

79.6326%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2.08886. El error medio absoluto (MAE) de 1.20496 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

➤ **Optimizar Respuesta**

Meta: maximizar Adsorción de plomo

Valor óptimo = 99.00

Tabla N° 23. Datos óptimos del diseño experimental

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
pH	4.5	8.1	4.5
Tiempo (min)	30.0	90.0	90.0
Dosis (g) (cantidad de adsorbente)	0.5	1.5	1.5

Fuente: Elaboración propia

Esta Tabla N^a 23 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Adsorción de plomo sobre la región indicada nótese que los valores óptimos son pH de 4.5 en 90 min con 1.5 gramos de AX (Aserrín Xantado) lo cual da la mayor adsorción posible de contaminante presente en este caso Pb (II).

Diagrama de Pareto Estandarizada para Adsorción de plomo

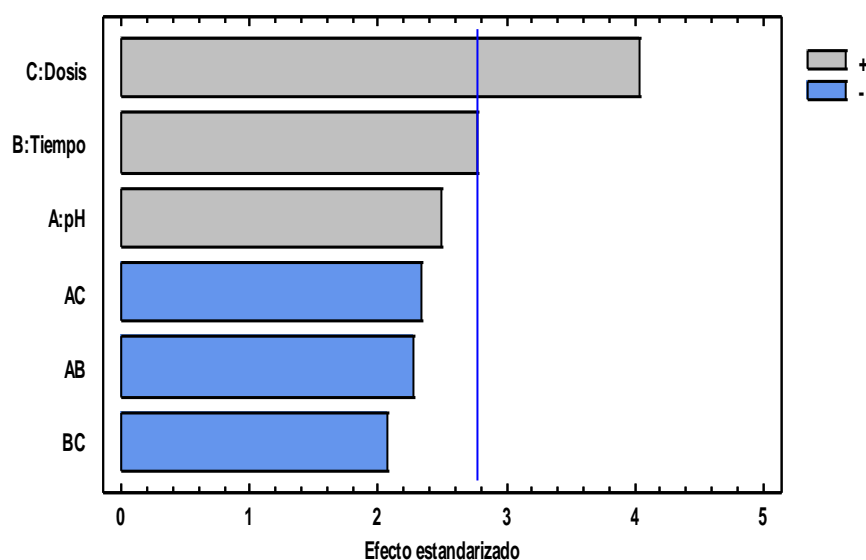


Figura N° 23. Gráfica de Pareto. Variable respuesta Y

La figura 23 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 17, la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, Tiempo, Dosis y pH, la más significativa para la variable respuesta es la **cantidad de adsorbente o dosis en gramos**, cualquier cambio en ésta afecta a la variable respuesta Y en mayor grado.

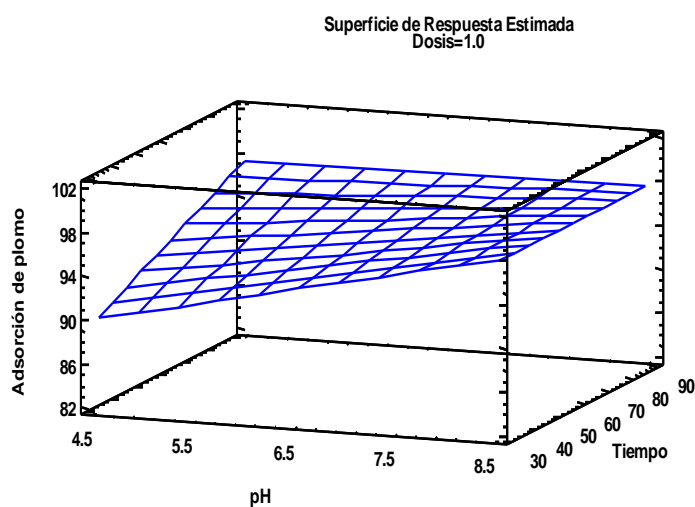
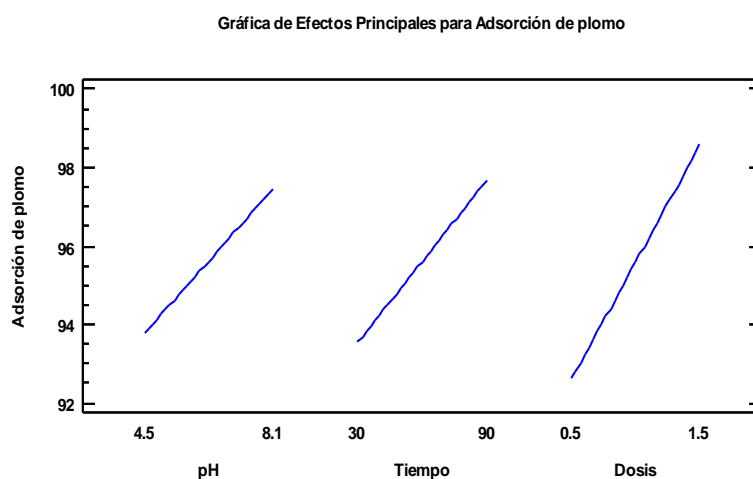


Figura N° 24. Grafica Superficie de Respuesta Estimada

La figura 24 ha sido elaborada en base a los datos obtenidos a una dosis constante de 1 g de adsorbente, la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones en 3 dimensiones, entre las variables, Tiempo, Cantidad de adsorbente y pH.

La línea azul indica el margen sobre el que varía el sistema siendo un diseño lineal la gráfica de superficie-respuesta.

Los colores indican cuan representativos son las variables y sus combinaciones. No hay indicios de correlación de serie en los residuos.

**Figura N° 25.** Grafica de Efectos Principales para Adsorción de Pb^{2+} .

La figura 25 muestra los Niveles superior e inferior de las variables en el proceso de Adsorción de Plomo que por tener pendientes positivas son todas favorables siendo la más aceptable la variable de dosificación la cual llega a mayor % de Adsorción igual al 99,1 % seguida de las variables Tiempo y pH.

Por lo tanto según los resultados de la tabla 19, 22 y 23, la remoción de $Pb(II)$ es fuertemente dependiente de la dosis de adsorbente seguida del tiempo y pH donde a mayor dosis y pH mínimo de la solución aumenta la remoción de $Pb(II)$, alcanzando un valor máximo de remoción en el rango de pH 4,5. El incremento de la remoción de $Pb(II)$ para valores de pH ácido es debido a una disminución de la competencia entre el protón y el ion metálico por los sitios de la superficie y la disminución de la carga superficial positiva. La disminución de la remoción del metal para valores altos de pH es debido a la

saturación de los sitios activos y al aumento competitivo de los protones para los mismos sitios de absorción que el metal puede utilizar (Andal y sakthi, 2010). Esto significa que la remoción de plomo ocurre debido a la distribución de energía de los sitios activos para adsorción y la ausencia de mono capas.

El pH de remoción de plomo con aserrín Xantado con similares a los encontrados en otros estudios las que se muestran en la tabla 24 la cual muestra una comparación de las capacidades de adsorción de plomo hallado en este estudio con otros bioadsorbentes reportados en la literatura.

Tabla N° 24. pH óptimos en la remoción de Pb(II) con distintos materiales activados mediante Xantación.

ADSOVENTE XANTADO	pH	% R	REFERENCIA
Aserrín(tornillo, caoba) Xantado	4,5	99,1	Este Trabajo
Aserrín de Carito Xantado	5	98	Nuñez(2015)
Aserrín(Pinus sylvestris) Formaldehido y Ácido Sulfúrico	4,5	86	TaTy-Costodes et al. (2003)
Cascara de Naranja Sulfurada	3,5	90	Liang et al. (2009)
Cascara de Naranja Xantada	5	95	Liang et al. (2011)
Aserrín Walnut Modificado con Formaldehido Ácido sulfúrico	4,7	92	Bulut y Tez (2003)

Fuente: Elaboración propia.

Estudios realizados por Nuñez, (2015) y Liang et al. (2011), revelaron que las remociones altas de Pb(II) ocurrieron a pH 5, cuyos resultados son similares al del presente trabajo a un pH de 4,5 con un porcentaje máximo de remoción del 99,1 % Por lo tanto, se daría la validez de este trabajo.

Seguidamente comparando con el trabajo de Taty-Costodes et al. (2003) utilizando como adsorbente aserrín d pino modificado con Formaldehido y Ácido Sulfúrico se observa que la máxima remoción obtenida fue a pH bajo de 4,5 obteniendo una remoción de 86 % lo que indica que este trabajo es aceptable y corrobora los resultados obtenidos.

Por otro lado, los trabajos realizados por los demás autores mencionados como Liang et al. (2009, 2011) y Bulut y Tez (2003) sus estudios tienen resultados similares de pH y porcentaje de adsorción el cual dan validez a este trabajo de investigación.

V. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que:

- Se evaluó la capacidad y cinética de adsorción del Pb^{2+} de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuwiri-Puno mediante el uso de Aserrín Xantado; encontrando el mayor % de adsorción del 99,10% con dosis de 1.5g de AX a pH de 4,5 a 60 RPM con un tiempo de agitación de 90 min. siendo el mejor modelo cinético el de pseudo segundo orden de Lagergren con un coeficiente de correlación (R^2) de 1, teniendo una tendencia a ser ideal. El análisis cinético mostró que el equilibrio de adsorción es alcanzado en, aproximadamente, 120 minutos para AX siguiendo una cinética de pseudo-segundo orden. Para determinar la capacidad máxima de adsorción se obtuvo a partir del diseño del modelo matemático de los datos experimentales reales por medio de la isoterma de Langmuir, con base al resultado se calculó la concentración del soluto absorbido por unidad en peso de adsorbente requerido para la capacidad de mono capa en la superficie (Q_e) que es de 0,01669 mg de Pb / g de adsorbente, obteniendo un coeficiente de correlación (r^2) de 0,9989 Por otro lado se aprecia correspondiente al modelo matemático de los datos experimentales por medio de la isoterma de Freundlich en donde se obtuvo un coeficiente de correlación (r^2) de 1, coeficiente de Freundlich (K_f) de 0,0334 L/g y n igual a 1 lo cual indica ser más favorable.
- Se realizó la modificación química del Aserrín de tornillo mediante la incorporación de grupos Xantato agregando bisulfuro de carbono e Hidróxido de Sodio el cual fue muy optimo en el proceso de adsorción ya que el bioadsorbente tiene bastantes sitios activos y grupos Xantatos que tienen mayor afinidad y facilitan la bioadsorción. Los análisis por FTIR demuestran la presencia de los grupos Xantatos en el AX que se han identificado por la aparición de nuevos picos a 640, 892.87 y 1203.16 cm^{-1} que corresponden a $\gamma C-S$, $\gamma C=S$ y $\gamma S-C-S$; esto concuerda con lo reportado por (Panda et al; 2008), quien identifico la presencia de grupos Xantatos en cascara de *Lathyrus Sativus* por los picos aparecidos a 661.5, 1080.5, 1163 y a 1200 a 1250 cm^{-1}
- Se determinó el mejor modelo cinético óptimo siendo el de pseudo segundo orden y se determinó sus parámetros cinéticos como la constante de adsorción (k_2) igual a -333.9307049 (g/mg*min) y una velocidad de adsorción (v_2) igual a -

0.115526667 mg/g*min. El modelo de Primer orden también podría ser utilizado como modelo para el proceso de adsorción, pero su factor de correlación estaba inferior al del pseudo segundo orden con un valor de R^2 igual a 0,9747. la capacidad de mono capa en la superficie (Q_e) que es de 0,01669 mg de Pb / g de adsorbente, obteniendo un coeficiente de correlación (r^2) de 0,9989 a 120 minutos para AX siguiendo una cinética de pseudo-segundo orden resultando ser la más óptima,

- Se evaluaron las condiciones de pH, tiempo de contacto y dosis de adsorbente siguiendo el diseño factorial estadístico y la matriz de diseño. A pH de 4,5 con tiempo de agitación y dosis mayor de 90 min y 1.5 g respectivamente es mejor la adsorción de plomo pues se encontró que esta es del 99.1% de adsorción esto concuerda con lo reportado por (Nuñez, 2015) quien reporto valores similares con el 98% de remoción, A $pH \geq 8,1$ con tiempo de 90 min y dosis d 1.5 g la diferencia de adsorción es del 98 %, o sea hay saturación la remoción disminuye. Por otra parte, evaluando en el centro con pH de 6,3 con tiempo de 60 min y dosis de 1g se obtuvo el 96%. La dosis, es la variable más significativa en el proceso de adsorción de Pb^{2+} seguida de tiempo y pH utilizando Aserrín Xantado.

VI. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos experimentalmente, y con el objetivo de mejorar y complementar la adsorción de Pb^{2+} de las aguas del río Jatun Ayllu Ocuwiri-Puno mediante el uso de Aserrín Xantado se realizan las siguientes recomendaciones en trabajos futuros.

- Dar más prioridad a la dosis de adsorbente se recomienda usar menor cantidad para mayores volúmenes de muestra contaminada para así mejorar y obtener altos porcentajes de adsorción, manejo adecuado del tiempo y pH recomendable en la adsorción.
- Probar la adsorción con una solución estándar de Pb^{2+} para comprobar con este trabajo.
- También se recomienda estudiar la adsorción del Aserrín Xantado con otros metales como: Zinc (Zn^{2+}), Cadmio (Cd^{2+}), Cobre (Cu^{2+}), Mercurio (Hg^{2+}), entre otros, teniendo en cuenta el pH. Sin embargo, se sugiere no utilizar el Aserrín Xantado para la adsorción de Cromo (Cr^{+3} y Cr^{+6}), pues de acuerdo con la regla de Pearson este es considerado un ácido fuerte, por el cual los grupos Xantatos no tienen mucha afinidad.
- Buscar nuevos adsorbente que sean más eficaces con pocas cantidades, y hacer investigación sobre adsorción de metales pesados.

VII. REFERENCIAS

APAZA ASEQUI, D. W. (2015). Remoción de metales plomo (Pb) y zinc (Zn) de las aguas del río T'oro Q'ocha por precipitación alcalina en la ciudad de Juliaca. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

ARIZACA J, AGUILAR T, CORNEJO D, HUANQUI R, MEDINA R, MIRANDA N, PACHECO M, PEREZ M, PIMENTEL J, ROQUE W, TTITO S., (2009). “Estudio Integral de la Contaminación de la Cuenca del Ramis”. Perú.

BANWELL C. N. Y MCCASH E. M., (1994). “Fundamentals Of Molecular Spectroscopy”, Ed. Mc Graw Hill Co, England, UK.

BENEFIELD Y MORGAN, (1999). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *Journal of Hazardous Materials*. No.97. pp: 219- 243

CASTRO, C. (1998). Estudios de remoción de Cadmio y Plomo de aguas residuales industriales por adsorción empleando arcillas. Ingeniero Químico. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.

CAÑIZARES-VILLANUEVA, R.O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana, *Revista Latinoamericana de Microbiología*. pp: 131-143.

CHÁVEZ M; DOMINE M. (2013) Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. En: *Avances en Ciencias e Ingeniería*, Vol 4.; No. 4 (octubre-diciembre); p.15-46.

CHEN, SONUNE Y GHATE, (2004). Estudio comparativo de polifenoles y determinación de la presencia de citoquininas en *Lupinus mutabilis* Sweet y *Zea mays*. *Revista cubana de plant med.* Nueva Granada.

DELGADO, H. S. (2013). *Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de agua residual*. Universidad Nacional de Ingeniería (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química y Textil, Lima-Perú.

DIAZ A. (2009). *Alteraciones neurológicas por exposición a plomo en trabajadores de procesos de fundición*, Soacha, 78p. Trabajo de grado (Magister en Toxicología). Universidad Nacional. Facultad de Medicina. Departamento de Toxicología.

- DABROWSKI A. (2001). Adsorption - from theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science* 93: pp. 135-224.
- DABROWSKI A., HUBICKI Z., PODKOSCIENLY P. ROBENS E. (2004). Selective Removal of the Heavy Metal Ions From Waters and Industrial Wastewaters by Ion-Exchange Method, *Chemosphere*, 56, 91.
- DAVIS, T.A. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by Brown algae, *Water Research*. Et al, pp: 4311-4330.
- DUFFUS, J. H. (2001). Heavy metals a meaningless term *Chemistry International*. Ed. Leck. Florida, USA. pp: 163-167.
- DUFFUS, J. H. (2002). Heavy metals-a meaningless term. *Pure and Applied Chemistry*. 74: 793-807.
- EATON, (1994). *Sorption of Pb (II), Ni (II), Cu (II) and Cd (II) from aqueous solution by olive stone waste. Separation and purification technology*. No.50. pp:132-140.
- FAO, (2010). *Estudio sobre riego y drenaje*. Segunda Edición. Vol 1. Gudaflach. pp:78-91.
- FU F; WANG Q. (2011). *Removing heavy metal ions from wastewater: A Review*. En: *journal of environmental management*. Vol.92. No.3; p.407-418.
- GARCÉS L. AND COAVAS S. (2012). Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales,” Universidad de Cartagena.
- GRAVILESCU, M. (2004). *Removal of heavy metals from the environment by biosorption*. *Engineering in Life Sciences*, Volume 4 pp: 219-232.
- GREENPEACE MÉXICO (2012). Actualización del estudio de Calidad del agua del Río Santiago (desde su nacimiento en el lago de Chapala hasta la presa Santa Rosa) tercera etapa. <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Footer/Descargas/reports/Toxicos/estudio-de-Calidad-del-agua-del-Rio-Santiago>
- HIDALGO S., MARTÍNEZ M. (2004). Reutilización de residuos de raspo de uva para la eliminación de metales tóxicos en los efluentes líquidos. *Ingeniero Químico*. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Química.

- HOMAGAI P; GHIMIRE K; INOUE K. (2010) *Heavy metal adsorption by modified oak sawdust: Thermodynamics and kinetics*. En: *Bioresource Technology*. Vol.101.No.6 (marzo); p. 2067-2069.
- HOYOS CERNA, M., & GUERRERO PADILLA, A. (2014). *Bioacumulación de Plomo y Cadmio en Brassica oleracea SUBSP. Capitata (L.) METZG. Y Raphanus sativus L.* Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo-Perú.
- HO Y SIRKAR, (1992). Sorption of Heavy Metals Ions by the NonLiving Biomass of Freshwater Macrophytes. *Environ. Sci. Technol.*, pp: 2213-2217.
- HO, Y. S. y McKAY, G. (1999). *Pseudo-second order model for sorption processes*. *Process Biochemistry*, 34 (5), 451-465.
- IZQUIERDO, S. M. (2010). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción, Evaluación de materiales y modelación de proceso* (Tesis doctoral). Universidad de Valencia. Departamento de Ingeniería Química. Valencia-España.
- JAIRO R. (2013) *Tratamiento de aguas residuales*. 4ta. Edición. Editorial escuela colombiana de ingeniería.
- KLEIN, M; HARPUR, E Y COBIN, R. (1970). Earthenware containers as a source of fatal lead poisoning: case study and public health considerations, *New England Journal of medicine*. pp: 283,669.
- KIZILKAYA, B., TEKINAY, A. A. y DILGIN, Y. (2010). *Adsorption and removal of Cu (II) ions from aqueous solution using pretreated fish bones*. *Desalination*, 264, 37-47.
- KUMAR A; RAO N. N; KAUL S. N. (2000). *Alkali-treated straw and insoluble straw xanthate as low cost adsorbents for heavy metal removal - preparation, characterization and application*. En: *Bioresource Technology*. Vol 71; p. 133-142.
- LANDFORD, PW. (1990). *Toxicity reduction in industrial effluents*. Van Nostrand Reynhold Company. pp. 18-34, 98-124.
- LANDRIGAN, P.L. (1990). *Lead in the modern workplace*, *American Journal of Public Health*. pp: 907-908.
- LAZO, C. L. R. (2012). *Remoción del Manganeso para mejorar la calidad de las aguas de consumo humano en la laguna Azulcocha* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Lima-Perú.

LIANG S; GUO X; FENG N; TIAN Q. *Application of orange peel xanthate for the adsorption of Pb²⁺ from aqueous solutions*. En: Journal of Hazardous Materials. Vol.170. No.1 (15 de octubre de 2009); p. 425-429.

LIANG S; GUO X; TIAN Q. *Adsorption of Pb²⁺ and Zn²⁺ from aqueous solutions by sulfured orange peel*. En: Desalination. Vol.275. (15 de julio de 2011); p.212-216.

LOARTE, V. A. D. y SANABRIA, C. V. R. (2015). *Efecto del pH y tipo de adsorbente en la remoción de Manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería Química, Huancayo-Perú.

MALIOU Y COL., (1992). Biosorption of Cu(II) ions onto the litter of natural trembling poplar forest; Journal of Hazardous Materials, Volume 151, pp: 86-95.

MEMON, S., MENON, N., SHAH, S. W., KHUHAWAR, M. Y., BHANGER, M. I., & SAWDUST, A. (2007). Adsorción de Cd en soluciones acuosas empleando aserrín de madera de cedro sin tratar y modificado. *Diario de materiales peligrosos*, págs. 116-121.

MESTANZA, M. M. (2012). *Estudio de materiales adsorbentes para tratamiento de aguas contaminadas con colorantes* (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas, Madrid-España.

NAVARRO A, RAMOS K, CAMPOS K, MALDONADO H. (2006). *Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: cationes divalentes y superficies activas*. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 7. pp: 113 -126

NUÑEZ, J. E. (2015). *Evaluación de la capacidad de adsorción acuosa del plomo mediante intercambiadores catiónicos preparados a partir de aserrín por medio de la reacción de Xantación*. Cartagena, Bolívar: Universidad de Cartagena-Colombia.

O'CONNELL D, BIRKINSHAW C, O'DWYER T. (2008) Heavy metal adsorbents prepared from the modified pulp: A Review. En: *Bioresource Technology*. Vol.99. No.15 (octubre de 2008); p. 6709 - 6724.

OMS, (2013). Niveles de plomo en aguas de consumo humano para poblaciones mineras. pp: 84-96

OLIVERO J; DUARTE J, ECHENIQUE E; GUETTE J; JOHNSON B; PARSONS P. (2007) *Blood lead levels in children aged 5-9 years living in Cartagena, Colombia*. En: *Science of the total environment*. Vol.372; p. 707-716.

PAGNANELLI; PAPINI, M.P.; TORO, L.; TRIFONI, M. Y VEGLIO, F. (2005). *Biosorption of metal ions on Arthrobacter sp.: biomasa characterization and biosorption modeling*; *Environmental Science & Technology*, Volume 34. pp: 2773-2778.

PANDA GC; DAS SK ; GUHA AK. *Níquel and biosorption of cadmium in the shell functionalized Lathyrussativus*. En: *Colloids And Surfaces B*. Vol. 62. No.2 (1 de abril de 2008); p.173 -179.

QINGBIAO LI, SONGTAO WU, GANG LIU, XINKAI LIAO, XU DENG, DAOHUA SUN, YUELIN HU, YILI HUANG. (2004). *Simultaneous biosorption of cadmium (II) and lead (II) ions by pretreated biomass of Phanerochaete chrysosporium. Separation and Purification Technology*. pp: 135–142.

QUIÑONEZ, E., TEJADA, C., ARCIA, C., & RUIZ, V. (2013). *Remoción de Plomo y Níquel en soluciones acuosas usando Biomásas Lignocelulósicas: una revisión*. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 479-489.

QUISPE, S. H. M. (2016). *Recuperación de Zinc de las aguas residuales de la ciudad de Juliaca por adsorción con salmuera de NaCl y Aserrín de Pino (Pinos Sylvestris)* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Puno. Facultad de Ingeniería Química, Puno-Perú.

REHMAN, H., SHAKIRULAH, M., & HAMEDULLAH, S. (2006). *Eliminación de Ni de medios acuosos mediante aserrín de Sissoo Dalbergia trabado con hidróxido sodio*. *J. Chin. Chem. Soc.*, 1045-1052.

TEJADA TOVAR, C., VILLABONA ORTIZ, A., & NUÑEZ ZARUR, J. (2015). *Uso de biomásas para la adsorción de plomo, níquel, mercurio y cromo*. *Ingenium*, 41-51.

TENORIO, (2006). *Remoción de Metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa*. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. UANL. México. Pp: 59-64

TORRES T; ROA G; FALL C; BARRERA C; UREÑA F; PAVÓN T.(2013). *Improving lead sorption through chemical modification of de-oiled allspice husk by xanthate*. En: *Fuel*.Vol.110; p. 4-11.

TRELLES, B. J. A. (2013). *Biosorción del Arsénico en medio acuoso empleando biomasas vegetales inertes* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima-Perú.

VIGNESWARAN Y COL., (2004). *Biosorption for the next century*, El Escorial. Junio. pp: 20-23.

VÍLCHEZ, (2005). *Tratamiento de Residuos Líquidos y Sólidos*. Avances en Biotecnología Ambiental. Chile.

VOLESKY, B. (2005). Removal and recovery of heavy metals by biosorption. In: *Biosorption of heavy metals*. Boston, USA, CRC press. pp: 7-43.

WEBER, W.J.; MORRIS, J.C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. J. San. Eng. Div. ASCE. pp: 31-59.

WEI, S., LI, D., HUANG, Z., HUANG, Y. y WANG, F. (2013). *High-capacity adsorption of Cr (VI) from aqueous solution using a hierarchical porous carbon obtained from pig bone*. *Bioresource Technology*, 134, 407-411.

ZAYED, E. M., SOKKER, H. H., ALBISHRI, H. M. y FARAG, A. M. (2013). *Potential use of novel modified fish bone for anchoring hazardous metal ions from their solutions*. *Ecological Engineering*, 61, Part A, 390-393.

WEBGRAFÍAS

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR), (2015). ToxFAQs™ sobre el plomo. {En línea}. Disponible en: [http : // www. atsdr. cdc.gov /es/toxfaqs /es _tfacts13.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html).

Coordenadas GPS (2019). *Coordenadas*. Recuperado de <http://www.coordenadas-gps.com/mapa/pais/PE>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 24 noviembre de 2014 En: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

ANEXOS

ANEXO I



Fig. A.1. Tesista realizando la toma de muestra en el Rio Jatun Ayllu.

Fuente: elaboración propia.



a) Proceso de xantación y secado del adsorbente



b) Controlando el proceso de adsorción

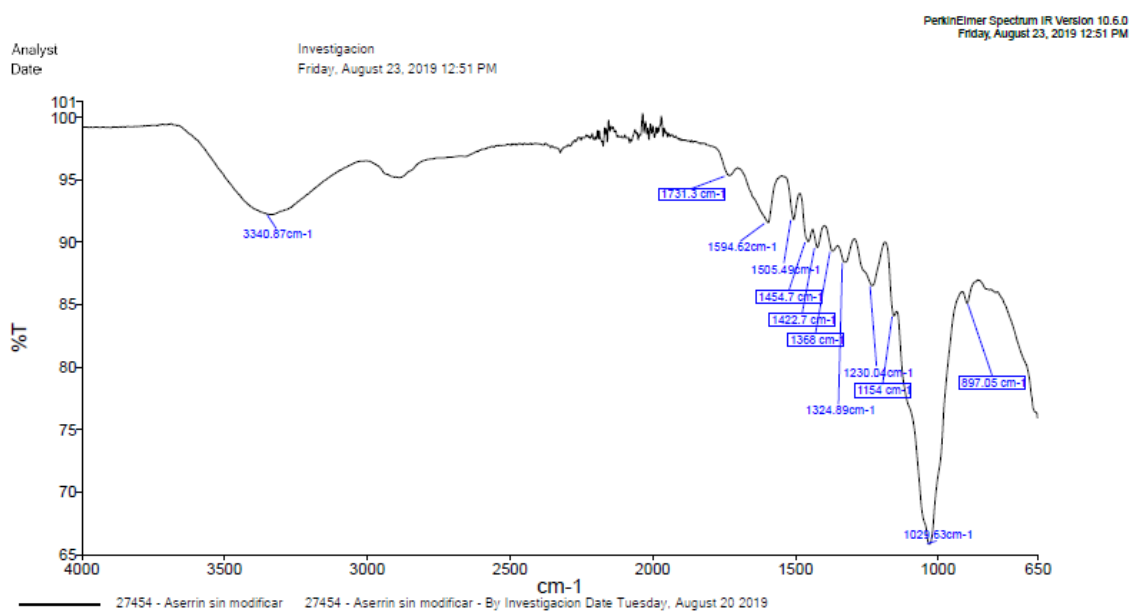
Fig. B.2. Controlando el proceso de adsorción a) y b) , en el Laboratorio de Control de Calidad UNA PUNO.

Fuente: elaboración propia.

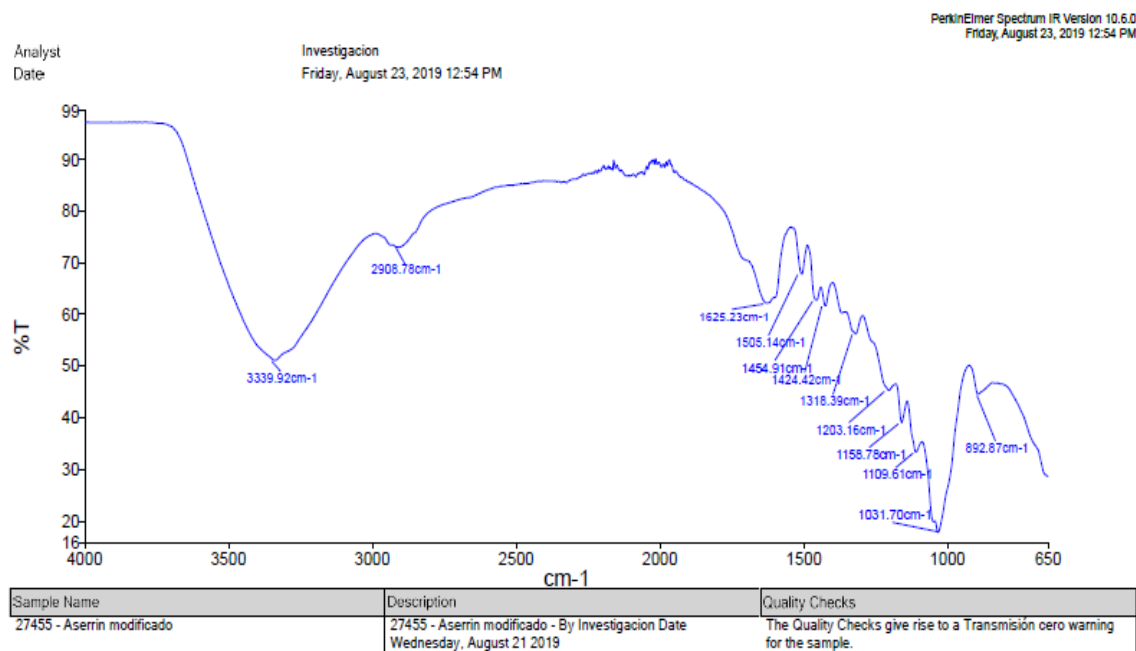


Fig. C.3. Equipo de absorción atómica N° 100.

Fuente: elaboración propia.



a) FTIR del Aserrín sin modificar (A)



a) FTIR del Aserrín modificado (AX)

Fig. D.4. Estructura de los análisis del Espectro FTIR del Aserrín (a) y Aserrín Xantado (b) realizados en LABINVSERV- UNSA- AREQUIPA.

Fuente: Elaboración propia

Fig. E.5. Resultados del análisis previo de metales pesados presentes en el agua del Rio Jatun Ayllu Ocuvi Puno por ICP AES.



LAS
Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N°LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00043
Fecha de emisión : 29/01/2019

Página 1 de 3

Señores : RHLAB S.A.C.
 Dirección : AV. MARTIRES DEL 4 DE NOVIEMB NRO. 2414 PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
 Atención : EDGAR HENRY AYQUI SUCTO
 Proyecto : Adsorción de Plomo Pb(II) mediante aserrin xantado de las aguas del río Jatun Ayllu Ocuvi - Puno

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : EDGAR HENRY AYQUI SUCTO Fecha de recepción : 23/01/2019
 Registro de muestreo : 037-19 Fecha de ensayo : 23/01/2019
 Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb. AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000071	MUESTRA DE RIO JATUN AYLLU COTAMINADO CON ACTIVIDAD MINERA	Agua Natural - Superficial - Agua de Rio	OCUVIRI / LAMPA / PUNO	Este: 298287.71 Norte: 8329001.22	22/01/2019	14:00

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra

Cooler refrigerado

Observación

-



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5401



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00043

Fecha de emisión : 29/01/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802									
		Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
AG19000071	MUESTRA DE RIO JATUN AYLLU COTAMINADO CON ACTIVIDAD MINERA	b<0,0024	9,32	0,0939	0,05731	0,001147	21,7	0,00822	0,046307	0,00988	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802									
		Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000071	MUESTRA DE RIO JATUN AYLLU COTAMINADO CON ACTIVIDAD MINERA	5,664	22,7	3,79	0,03057	7,269	0,69905	b<0,00038	26,3	0,06789	0,0911

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802							
		Pb	Sb	Se	SiO2	Sn	Sr	Ti	Tl
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000071	MUESTRA DE RIO JATUN AYLLU COTAMINADO CON ACTIVIDAD MINERA	0,489	b<0,00049	b<0,002	20,00	b<0,00085	0,4238	0,01052	b<0,0013

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802	
		V	Zn
		mg/L	mg/L
AG19000071	MUESTRA DE RIO JATUN AYLLU COTAMINADO CON ACTIVIDAD MINERA	0,00708	0,2608

Sixto Juarez Neira
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Juarez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico CLP 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

“<Valor numérico” = Límite de detección del método, “<Valor Numérico” = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5402



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00043

Fecha de emisión : 29/01/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0005 - 2.5] mg/L

* : Límite detección b : Límite de cuantificación

Seoné
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

*<Valor numérico = Límite de detección del método, °<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 5403

Fig. F.6. Resultados de los análisis de Pb²⁺ por Espectroscopia de absorción atómica.



RH-22-251

INFORME DE ENSAYO**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE	:	Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	02
DENOMINACION DE LA MUESTRA	:	Muestra de agua Contaminada de Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01) y (M-02)
COORDENADAS DE MUESTREO	:	19L 0299673 SW UTM 8312364
HORA DEL MUESTREO	:	11:00 am
MUESTREO POR	:	Él Cliente
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Plomo (Pb).
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Botellas de vidrio, debidamente conservadas y refrigeradas
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	29/12/2018 al 02/01/2019

DETALLE DEL INFORME**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M200615	M-01	0.560
2	RH-M200616	M-02	0.240

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 Analítica de Plomo (Pb) en agua - Método Absorción Atómica



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-339

INFORME DE ENSAYO**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE	:	Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	01
DENOMINACION DE LA MUESTRA	:	Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)
MOTIVO	:	Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del río Jatun Ayllu Ocuvíri-Puno
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Plomo (Pb).
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Frascos esterilizados, conservados y refrigerados
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	02/04/2019

DETALLE DEL INFORME**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31343	Solución tratada BT1	0.061

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

METODOS DE REFERENCIA

* Determinación Analítica de Plomo (Pb) en agua - Método Adsorción Atómica



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-340

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 01

DENOMINACION DE LA MUESTRA : Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)

MOTIVO : Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del rio Jatun Ayllu Ocuvíri-Puno

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Plomo (Pb).

RECEPCION DE MUESTRAS : Frascos esterilizados, conservados y refrigerados

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 02/04/2019

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31344	Solución tratada BT2	0.043

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

METODOS DE REFERENCIA

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



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-341

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 01

DENOMINACION DE LA MUESTRA : Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)

MOTIVO : Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuvíri-Puno

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Plomo (Pb).

RECEPCION DE MUESTRAS : Frascos esterilizados, conservados y refrigerados

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 03/04/2019

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31345	Solución tratada BT3	0.027

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

METODOS DE REFERENCIA

* Determinación Analítica de Plomo (Pb) en agua - Método Adsorción Atómica



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
 Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-342

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : **Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.**

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : **01**

DENOMINACION DE LA MUESTRA : **Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)**

MOTIVO : **Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuvi-Puno**

SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis Químico elemento Plomo (Pb).**

RECEPCION DE MUESTRAS : **Fascos esterilizados, conservados y refrigerados**

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **03/04/2019**

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31346	Solución tratada BT4	0.016

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

METODOS DE REFERENCIA

* Determinación Analítica de Plomo (Pb) en agua - Método Adsorción Atómica



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-343

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 01

DENOMINACION DE LA MUESTRA : Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)

MOTIVO : Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuvi-Puno

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Plomo (Pb).

RECEPCION DE MUESTRAS : Frascos esterilizados, conservados y refrigerados

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 03/04/2019

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31347	Solución tratada BT5	0.015

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

METODOS DE REFERENCIA

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

Ing. Oscar Cordero
 CIP 16775
 TECNICO DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-344

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : **Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.**

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : **01**

DENOMINACION DE LA MUESTRA : **Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)**

MOTIVO : **Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuviiri-Puno**

SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis Químico elemento Plomo (Pb).**

RECEPCION DE MUESTRAS : **Frascos esterilizados, conservados y refrigerados**

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **04/04/2019**

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31348	Solución tratada BT6	0.007

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

METODOS DE REFERENCIA

* Determinación Analítica de Plomo (Pb) en agua - Método Adsorción Atómica



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-345

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : **Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.**

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA
 CANTIDAD DE MUESTRAS : **01**
 DENOMINACION DE LA MUESTRA : **Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)**

MOTIVO : **Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuwiri-Puno**

SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis Químico elemento Plomo (Pb).**
 RECEPCION DE MUESTRAS : **Frascos esterilizados, conservados y refrigerados**

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **04/04/2019**

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31349	Solución tratada BT7	0.001

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

METODOS DE REFERENCIA

* Determinación Analítica de Plomo (Pb) en agua - Método Adsorción Atómica



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
 Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-346

INFORME DE ENSAYO**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE	:	Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	01
DENOMINACION DE LA MUESTRA	:	Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)
MOTIVO	:	Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuvíri-Puno
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Plomo (Pb).
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Frascos esterilizados, conservados y refrigerados
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	04/04/2019

DETALLE DEL INFORME**RESULTADO DE ENSAYO**

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31350	Solución tratada BT8	0.002

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

METODOS DE REFERENCIA

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



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-347

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 04

DENOMINACION DE LA MUESTRA : Solución tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)

MOTIVO : Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuviñi-Puno

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Plomo (Pb).

RECEPCION DE MUESTRAS : Frascos esterilizados, conservados y refrigerados

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 02/04/2019

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31351	Solución tratada Y1	0.100
2	RH-M31352	Solución tratada Y2	0.027
3	RH-M31353	Solución tratada Y3	0.027
4	RH-M31354	Solución tratada Y4	0.020

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

METODOS DE REFERENCIA

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



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-348

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE	:	Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	04
DENOMINACION DE LA MUESTRA	:	Solucion tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)
MOTIVO	:	Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuvi-Puno
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Plomo (Pb).
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Frascos esterilizados, conservados y refrigerados
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	03/04/2019

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31355	Solución tratada Y5	0.016
2	RH-M31356	Solución tratada Y6	0.010
3	RH-M31357	Solución tratada Y7	0.005
4	RH-M31358	Solución tratada Y8	0.009

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

METODOS DE REFERENCIA

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



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RH-25-349

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 03

DENOMINACION DE LA MUESTRA : Solución tratada de agua Contaminada del Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)

MOTIVO : Ejecución del proyecto de tesis denominado: Adsorción de Pb(II) mediante Aserrín Xantado de las aguas del Rio Jatun Ayllu Ocuvi-Puno

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Plomo (Pb).

RECEPCION DE MUESTRAS : Frascos esterilizados, conservados y refrigerados

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 04/04/2019

DETALLE DEL INFORME

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Codigo del Cliente	Pb
			mg/L
1	RH-M31359	Solución tratada Y9	0.021
2	RH-M31360	Solución tratada Y10	0.018
3	RH-M31361	Solución tratada Y11	0.018

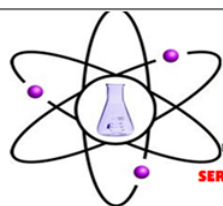
Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

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



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RHLAB S.A.C.

SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

RH-22-766

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. Edgar Henry Ayqui Sucto**

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra contaminada.

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : **09**

DENOMINACION DE LA MUESTRA : Solución tratada de agua Contaminada de Rio Jatun Ayllu Cuenca Chacapalca (M-01)

MOTIVO : Ejecución del proyecto de tesis denominando: Adsorción de Pb(II) mediante Aserin Xantadp de las aguas del Rio jatun Ayllu Ocuvin-Puno.

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Plomo (Pb).

RECEPCION DE MUESTRAS : Frascos esterilizados, conservados y refrigerados

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 21/07/2019

DETALLE DEL INFORME

RESULTADOS DE ENSAYO

N°	N° RH	Código del cliente	Pb
			mg/L
1	RH- M31365	Solucion tratada AX1	0,100
2	RH- M31366	Solucion tratada AX2	0,080
3	RH- M31367	Solucion tratada AX3	0,016
4	RH- M31368	Solucion tratada BX1	0,036
5	RH- M31369	Solucion tratada BX2	0,026
6	RH- M31370	Solucion tratada BX3	0,023
7	RH- M31371	Solucion tratada CX1	0,027
8	RH- M31372	Solucion tratada CX2	0,051
9	RH- M31373	Solucion tratada CX3	0,058

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 Analítica de Plomo (Pb) en agua - Método Absorción Atómica



Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140