



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA



TESIS

**ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO CON CARBON ACTIVADO DE HUESO  
DE ALPACA EN AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA ESPINAR – PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**EVA ROXANA APAZA CRUZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGÍSTER SCIENTIAE EN ECOLOGÍA**

**CON MENCIÓN EN EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2018**

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO CON  
CARBÓN ACTIVADO DE HUESO DE ALPA  
CA EN AGUAS RESIDUALES DE LA LAGU  
NA**

AUTOR

**ROXANA APAZA**

RECUENTO DE PALABRAS

**21574 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**105311 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**82 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**1.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 1, 2023 9:48 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 1, 2023 9:49 AM GMT-5**

● **16% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 13% Base de datos de Internet
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossr
- 12% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

  
Dr. Nicanor Miguel Bravo Choque  
PROFESOR PRINCIPAL  
UNAP - F.CC.BB.

  
Dr. Francisco Albarracín Herrera



Resumen



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN ECOLOGÍA

#### TESIS

## ADSORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO CON CARBON ACTIVADO DE HUESO DE ALPACA EN AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA ESPINAR – PUNO



PRESENTADA POR:

EVA ROXANA APAZA CRUZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGÍSTER SCIENTIAE EN ECOLOGÍA

CON MENCIÓN EN EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

M.Sc. ALFREDO LUDWING LOZA DEL CARPIO

PRIMER MIEMBRO

M.Sc. EDWIN FEDERICO ORNA RIVAS

SEGUNDO MIEMBRO

Mg. DANTE MAMANI SAIRITUPAC

ASESOR DE TESIS

Dr. FRANCISCO ALBARRACIN HERRERA

Puno, 20 de julio de 2018

**ÁREA:** Ecología - Evaluación del Impacto Ambiental.

**TEMA:** Adsorción de plomo y cadmio con carbón activado de hueso de alpaca en aguas residuales de la laguna Espinar – Puno

**LÍNEA:** Recursos Naturales y Medio Ambiente – Calidad Ambiental



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a DIOS quién me dio mucha fortaleza para salir adelante para continuar día a día.

A mi vida entera y motor mi adorada hija Regina, a mis padres Andrés, Lourdes y hermanos Jorge, Juan a quienes les debo todo lo que soy, por su apoyo incondicional.



## AGRADECIMIENTOS

- A mi Alma Máter, la Universidad Nacional del Altiplano, a la maestría de Ecología en Mención de Impacto Ambiental a todos los docentes quienes me transmitieron su conocimiento y me formaron Profesionalmente.
- Mi agradecimiento a quien me ha moldeado mi camino y me ha encaminado por el sendero correcto, a Dios, que está ayudándome a aprender de mis errores y no cometerlos otra vez. Este proyecto no se hubiese realizado sin la generosa colaboración de muchas personas que han intervenido ya sea en una forma directa o indirecta para la realización de la tesis, a quienes expreso mi sincero agradecimiento.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	2
1.1.1. Aguas residuales	2
1.1.2. Contaminación de metales pesados	4
1.1.3. Toxicidad de los metales pesados	5
1.1.4. Carbón activado de hueso como adsorbente	8
1.1.5. Carbón activado	8
1.1.6. Procesos de obtención	9
1.1.7. Adsorción con carbón activado	10
1.1.8. Intercambio iónico en aguas residuales	11
1.1.9. Adsorción	12
1.1.10. Isotermas de adsorción	13
1.1.11. Cinética química	16
1.1.12. Velocidad de reacción	17
1.1.13. Influencia de la temperatura	18
1.2. Antecedentes	19

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	26
2.2. Enunciados del problema	27
2.2.1. Pregunta general	27



2.2.2. Preguntas específicas	27
2.3. Justificación	27
2.3.1. Justificación social	28
2.3.2. Justificación económica	29
2.3.3. Justificación ambiental	29
2.3.4. Justificación técnica	30
2.4. Objetivos	30
2.4.1. Objetivo general	30
2.4.2. Objetivos específicos	30
2.5. Hipótesis	31
2.5.1. Hipótesis general	31
2.5.2. Hipótesis específicas	31

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Lugar de estudio	32
3.2. Población	32
3.3. Muestra	33
3.4. Método de investigación	33
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	34
3.5.1. Modelo de la ecuación de Elovich	39
3.5.2. Calculo de análisis y determinación de plomo y cadmio en la laguna de espinar Puno	39
3.5.3. Determinación del diseño experimental	39
3.5.4. Del ensayo	39

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Propiedades físicas y químicas del carbón activado del hueso de alpaca	41
4.2. Estudios de plomo y cadmio en la laguna de espinar – Puno	42
4.2.1. Plomo	45
4.2.2. Cadmio	47
4.3. Ajuste de datos a diferentes modelos cinéticos para el diseño experimental	50
4.3.1. Ajuste de datos a diferentes modelos cinéticos tratamiento de datos para el plomo a pH 6.8.	51
4.3.2. Ajuste de datos cinéticos al modelo de pseudo primer orden	52



4.3.3. Ajuste de datos a diferentes modelos cinéticos tratamiento de datos para el cadmio a pH 5.2.	55
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	67



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Fuentes de contaminación y efectos sobre la salud de metales pesados	5
2. Isotermas de Adsorción	15
3. Método de ensayo de experimentos de volúmenes y tiempos	33
4. Matriz de experimentos de volúmenes y tiempos	40
5. Características físicas y químicas del carbón activado del hueso de alpaca	41
6. Determinación de la concentración de plomo y cadmio en la laguna del Espinar – Puno	42
7. Resultado de análisis de Pb y Cd en aguas residuales de laguna del Espinar – Puno antes y después del tratamiento con carbón activado	43
8. Volúmenes de gastos con EDTA antes y después del tratamiento con carbón activado de plomo y cadmio en aguas residuales de la laguna de Espinar – Puno	44
9. Velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos (pH=5.2)	49
10. Velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos (pH = 6.8)	51
11. Velocidad de adsorción de cadmio en diferentes tiempos (pH=5.2)	47
12. Velocidad de adsorción de cadmio en diferentes tiempos (pH=6.8)	40
13. Velocidad de adsorción de plomo a pH 6.8	42
14. Modelo de pseudo primer orden para el Pb	52
15. Ajuste de datos cinéticos al modelo de elovich para el Pb	53
16. Velocidad de adsorción para cadmio a un pH 5.2	55
17. Ajuste de datos cinéticos al modelo de pseudo primer orden para el cadmio	56
18. Ajuste de datos cinéticos al modelo de Elovich para cadmio aun pH 5.2	57



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Adsorción	12
2. Isoterma	14
3. Isoterma de Langmuir e Isoterma de BET	16
4. Laguna de las aguas residuales “El Espinar” zona de muestreo	32
5. Velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos pH 5.2	45
6. Velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos (pH=6.8)	46
7. Velocidad de adsorción de cadmio en diferentes tiempos pH 5.2	48
8. Velocidad de adsorción de cadmio a diferentes tiempos	49
9. Velocidad de adsorción del Pb con respecto al tiempo	51
10. Modelo de pseudo primer orden	53
11. Ajuste de datos al modelo de elovich	54
12. Velocidad de adsorción para el cadmio a un pH 5.2	55
13. Modelo de pseudo primer orden para el cadmio a pH 5.2	56
14. Modelo de elovich para cadmio a un pH 5.2	57



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Trituración del hueso de alpaca	68
2. Hueso de alpaca en la mufla eléctrica	68
3. Resultado del carbón a diferentes temperaturas	68
4. Tratamiento con ácido fosfórico el carbón de hueso de alpaca	69
5. Trituración y separación por tamaños en la malla Talyer el carbón activado del hueso de alpaca	69
6. Pruebas de adsorción de aguas residuales	69
7. Límites máximos permisibles de metales pesados	70

## RESUMEN

Las aguas residuales que desembocan en la laguna de Espinar de la Región Puno tienen una elevada carga de metales pesados tales como Pb y Cd. Los métodos físicos y químicos convencionales utilizados para la eliminación de metales pesados, tales como el intercambio iónico o la precipitación, son ineficaces y costosos. Una alternativa de reducir la presencia de metales pesados en las aguas residuales es mediante procesos de adsorción, utilizando carbón activado. Para lograr esto, se activaron químicamente huesos de alpaca, con ácido fosfórico concentrado a 80%. Posteriormente, se carbonizaron a una temperatura de 800°C por 53 minutos y finalmente fueron tamizados en una malla con un diámetro de 0.0767 micras. El carbón obtenido tuvo una densidad de 1.08 g cm<sup>-3</sup>, humedad 11.14 %, grasa 2.78 % y ceniza 8.42 %. Para probar la eficacia del carbón obtenido, se tomaron muestras de aguas residuales de la laguna de Espinar cuyos contenidos iniciales de Pb y Cd fueron 0.79 y 0.43 g/L respectivamente. Después del tratamiento con el carbón activado de hueso de alpaca los contenidos de Pb y Cd se redujeron a 0.13 y 0.056 g/L, alcanzando una remoción de 84% y 87% para Pb y Cd respectivamente. El equilibrio iónico de adsorción de primer orden se ajusta al modelo de Elovich con un 98.9% de Pb a un pH de 6.8 y 91.8% de Cd a un pH de 5.2. Consecuentemente, se demostró la efectividad del producto obtenido en la remoción de metales pesados de muestras de aguas residuales.

**Palabras clave:** Adsorción, carbón activado, huesos alpaca, remoción de metales pesados, plomo, cadmio.



## ABSTRACT

Wastewater that flows into Espinar lagoon in the Puno Region, has a high heavy metals load such as Pb and Cd. Conventional physical and chemical methods employed for heavy metals removal, such as ion exchange or precipitation are both ineffective and expensive. An alternative to reduce the presence of heavy metals in wastewater is through adsorption processes, using activated carbon. To achieve this, alpaca bones were chemically activated with 80% concentrated phosphoric acid. Subsequently, they were carbonized at 800°C for 53 minutes and finally were sieved in a mesh with 0.0767 microns of diameter. The coal obtained had a density of 1.08 g cm<sup>-3</sup>, humidity 11.14%, fat 2.78% and ash 8.42%. To test the efficiency of the carbon obtained, wastewater samples were taken from Espinar lagoon whit Pb and Cd initial contents were 0.79 and 0.43 g/L respectively. After treatment with activated carbon from alpaca bone, Pb and Cd contents were reduced to 0.13 and 0.056 g/L, reaching a removal of 84% and 87% for Pb and Cd, respectively. The first order adsorption ionic equilibrium follows Elovich model with 98.9% of Pb at pH 6.8 and 91.8% of Cd at pH 5.2. Consequently, the efficacy of the obtained product in removing heavy metals from wastewater samples were demonstrated.

**Keywords:** Adsorption, activated carbon, alpaca bones, removal of heavy metals, lead, cadmium.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación es causada por metales pesados en aguas, debido al aumento de concentración de estos compuestos, son los más alarmantes de acuerdo a la procedencia de nuestro medio ambiente por parte de la población, industrias; sin embargo, la agricultura y la expulsión de residuos mineros ya sean formales e informales son las fuentes ya que estos residuos son descargados en el medio ambiente como son en el aire, agua y tierra, por ende estas partículas llegan a alcanzar mayores concentraciones, al sitio de descarga sustancialmente adyacente, causando daños de impactos en el medio ambiente (Franco, 2014). Ante todo, coexiste así intranquilidad en la naturaleza debido a que no son degradables ni químicamente ni biológicamente del medio ambiente.

Los metales pesados en los ecosistemas acuáticos forman así problemas ambientales puesto que estos no son biodegradables, causando daños a la existencia acuática; además, durante los procedimientos biológicos de aguas residuales se van eliminando microorganismos, (Hussein, 2004). Por la cual, para la eliminación de estas sales los cuales son eficientemente se ha diseñado tratamientos avanzados diversos que acceden, pero son muy poco accesibles económicamente. Por otra parte este estudio sobre todo en aguas residuales es la adsorción de metales pesados es por su toxicidad, los metales pesados son tóxicos los efectos de estos no se manifiestan fácilmente y son muy dificultosos de eliminar del medio ambiente y que generalmente estos son absorbidos por los seres vivientes acuáticas, también afecta al ser humano en la salud ya que son muy dañinos en el consumo de alimentos acuáticos, la cual esto afecta en la salud como retrasos enfermedades cáncer, daños en los diferentes órganos de los seres vivos (Muzzarelli, 1977)

En la investigación se utilizó el carbón activado de hueso de alpaca en aguas residuales, los cuales fueron obtenidos a una temperatura, activándose con ácido fosfórico, se determinó los tamaños de partículas para la capacidad de adsorción para encontrar sobre todo adsorbentes naturales de menos costo y con una capacidad muy amplia de adsorber iones metálicos, la cual se efectúa naturalmente sin afectar ni contaminar a nuestro medio ambiente.

El estudio comprende los objetivos de Evaluar la adsorción de metales pesados como el plomo y cadmio con carbón activado de hueso de alpaca en aguas residuales de la laguna de espinar – Puno.



## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1. Aguas residuales

Las aguas residuales a nivel mundial se generan a un nivel muy alto, la cual está aproximadamente entre el 90 y el 95 % de aguas residuales esto se debe a la generación de las descargas de las poblaciones y de los centros mineros artesanales lo cual no recibe tratamiento adecuado (Sánchez *et al.*, 2016). Las aguas negras son provenientes de inodoros de igual forma son las que transportan heces, orinas en efecto son ricas en solidos suspendidos y por otra parte son altos en nitrógenos, sobre todo la remoción de los contaminantes tal como se realizan a través de métodos biológicos y fisicoquímicos de los efluentes. Para tratar las aguas residuales pueden ser de aireación o procesos biológicos anaerobio y fisicoquímicos o puede ser con plantas depuradoras en otras palabras esto demanda costo en las separaciones de tratamientos. En otras palabras, estos contaminantes a consecuencia de los agentes tóxicos presentes por esa razón se activan de los cuerpos de tal forma en la eutrofización debido a la materia orgánica puesto que esto se descompone por causa de compuestos químicos, teniendo en cuenta que esto afecta la mayor parte de la propiedad y característica de los cuerpos de las aguas superficiales (Cervantes *et al.*, 2011).

Teniendo en cuenta que a consecuencia de la contaminación de estos metales pesados en el agua y los suelos por esta razón estas no sirven para el sector de agricultura en los riegos (Keser *et al.*, 2012). Las aguas ennegrecidas son actualmente a consecuencia de los malos hábitos de la población por consiguiente

en pocas palabras esto es una alarma para la salud en personas como en animales de nuestro planeta (Panikkar *et al.*, 2010). Estas aguas sin tratar son perjudiciales en la salud de los seres humanos como son gastrointestinales, según va creciendo la población en las áreas urbanas se incrementará la contaminación de las aguas residuales, por ende, se requiere reducir la sobre explotación de los recursos naturales, reducir o tener un plan de uso de los recursos hídricos (Cervantes *et al.*, 2011)

Las aguas residuales producidas por la población, crean un peligro para la salud, todas esas aguas contaminadas contienen muchos organismos muy peligrosos como químicos y metales pesados estas sustancias aprovechan las corrientes y todas estas terminan en el lago Titicaca, el agua contaminada envenena los peces y si regamos contaminamos nuestro sector de agricultura la cual tenemos contacto directo o indirectamente, la cual debería de depurarse antes de que llegue a nuestro lago Titicaca las cuales estos son impactos negativos de las aguas residuales por otro lado afecta nuestro medio ambiente (Franco, 2014). El problema con la contaminación de las aguas residuales es uno de los más preocupantes por la degradación del medio ambiente de parte de los seres humanos la cual consideramos que es un deterioro a nivel mundial, esta contaminación se debe al sector agrícola lo cual ellos para obtener sus productos de buena calidad utilizan fertilizantes en todos los sectores utilizando estos productos contaminan nuestros suelos sin darnos cuenta tan solo para incrementar la economía, la población también crece, por otro lado la industrias desechan vertidos y residuos la cual esta presenta la más peligrosa para nuestro medio ambiente todo representa la contaminación por metales pesados la cual esto daña de forma general en la salud de los seres vivos esto debido a su toxicidad (Vera *et al.*, 2016).

Los iones metálicos algunas veces se encuentran en bajas concentraciones la cuales a estas se denominan nutrientes para el sector vegetal y animal. Sin embargo, si estos elementos se encuentran en altas concentraciones superiores a los límites las cuales eso se debe al desequilibrio natural que genera la toxicidad y muerte en algunos casos de los seres humanos ya que esta en nuestro sistema ambiental, esto se refiere a un impacto negativo a nuestro medio ambiente, estos metales dependen de su traslado en nuestro medio y persistencia las cuales estas son echados a nuestra atmósfera y echados al medio acuático (Ivan *et al.*, 2015).

### 1.1.2. Contaminación de metales pesados

En la actualidad más de un sin número se estima las sustancias que son introducidas directas o indirectamente en aguas, este problema es aún mayor por las acciones de los seres humanos al mismo tiempo contaminamos el medio ambiente con lo que respecta en los vertidos provenientes de industrias, las empresas mineras, pesticidas, hospitales son fuentes que emiten y generan metales pesados como son el plomo, cadmio, mercurio el arsénico y el cobre a la vez estos son muy tóxicos en relación con respecto a los cuerpos que los absorben. Ciertamente a su vez son un comienzo de la contaminación de la cadena alimenticia por el hombre al ser ingeridos en los alimentos contaminados por los compuestos que son el cadmio, plomo y mercurio, estos metales inducen diferentes riesgos en la salud como son dolores, estomacales, gastrointestinales, cardiovasculares, neurológicos, sistemas reproductores hepáticos amnesia, ceguera y hasta pueden provocar la muerte (Rodríguez, 2001)

La contaminación de los metales pesados afecta drásticamente la seguridad alimenticia en la salud, las cuales se han encontrado en los alimentos como son, en las carnes, hortalizas y pescados, estas son causas del uso constante de riego de aguas afectadas, son los resultados de la bioacumulación a las fuentes hídricas. En cuanto los seres humanos consumen estos alimentos contaminados por metales pesados no se degradan ni químicamente ni biológicamente las cuales estos se adhieren en nuestro organismo. Estas sustancias son productos de la labor minera informal, fundición, residuos de los autos, es necesario recalcar sobre los pesticidas y fertilizantes que utilizan los agrónomos para obtener sus cultivos con éxito contaminando así los suelos. La cual debemos de tratar de controlar y/o minimizar la contaminación con metales pesados para prevenir y minimizar la contaminación de nuestro medio ambiente (Vílchez, 2005).

La contaminación de nuestro medio ambiente con dichos metales, evoluciona según las actividades de las personas que vivimos sin darnos cuenta al dañar nuestro planeta sin darnos cuenta, principalmente las industrias, la cual está incluida la agricultura como ya se mencionó los residuos sólidos que no son eliminadas como debería de ser, la cual esto también contamina ya que son descargadas en la atmósfera, las cuales estas son las principales vías de contaminación de nuestro

medio ambiente, por ende las partículas como solutos y estas llegan a alcanzar concentraciones superiores in situ, los efectos de la contaminación de estos metales las cuales varían la vida del ecosistema, los seres humanos no tomamos mucha importancia y cada vez se deteriora los ecosistemas las cuales son de importancia de salud y económica (Rojas, 2012). En el ambiente acuático la presencia de estos metales, causa daños irreparables, causando que durante los tratamientos biológicos en aguas residuales la cual esto no resulta ya que algunos metales son solubles en aguas las cuales no se logra separar por métodos tradicionales.

### 1.1.3. Toxicidad de los metales pesados

La toxicidad de estos metales pesados se basa en la muerte de la flora, ríos, animales e incluso al ser humano cabe concluir que estos metales pesados en determinadas condiciones son una amenaza a nuestro planeta. Estos metales lo que acontece a ser tóxicos cuando se transforman en una sustancia mediante cambios que hacen en el cuerpo la cual se almacena en los tejidos. Los cuales estos se introducen en los seres vivos a través de la comida como ellos; agua, aire o la adsorción a través de la piel cuando se tocan llegan a ser tóxicos a cualquier nivel que arruina nuestra calidad de vida donde podemos tener enfermedades leves, dolores estomacales, tendencias mentales que se dan con estos metales. Los metales pesados se generan en la industria, joyería, pinturas o ser fumadores pasivos donde esto se acumula en las cadenas alimenticias la cual se considera una ruta de captación de estos metales pesados (Cruz *et al.*, 2012).

Un metal pesado no se biodegrada permanecen en el ambiente y sus concentraciones bajas en los seres vivos, los efectos de estos, son graduales en el momento de inhalar, en lo que afecta al ser humano. Mucho de los metales pesados no todos son necesariamente tóxicos y algunos son esenciales para el ser humano en las reacciones metabólicas, es significativa las necesidades que se limitan a las cantidades pequeñas. En este caso no todos los metales pesados son nutrientes para una vida saludable; por otra parte, algunos elementos como son el Fe, Zn, Cu, Mn, Ni o Co para tal estos juegan un papel dentro de este marco sobre la calidad de vida (Silva *et al.*, 2008). Debido a esto, se encuentran como elementos de diferentes formas, como son en vegetales, comestibles, frutas. Por otro lado, los metales pesados es necesario recalcar que se usan en la industria para diferentes tipos de

fabricaciones como son baterías, tintes y otros tipos de aleaciones, etc. Cabe resaltar estos productos están en primer lugar y presentes en el entorno de nuestra vida cotidiana afectando así a los seres vivos (Hidalgo *et al.*, 2004).

La cual estos generan al medio ambiente daños tóxicos en aguas contaminadas, con el tiempo se acumulan estos metales en los sedimentos, flora acuática bien por precipitación o de otras maneras de manera natural por ende estos se transporta en el ecosistema silenciosamente lo que produce mayores cantidades de contaminación de diferentes especies toxicas, las cuales se hacen accesibles a las personas, esto genera daños tóxicos en las células de los seres vivos la cual se incorpora por cadena alimenticia al hombre (García *et al.*, 2006). Las fuentes y efectos de los metales pesados por la contaminación se detallan en la tabla 1.

La contaminación por estos iones metálicos pesados, es perjudicial en la salud de los seres vivos y animales. Algunos autores muestran que la contaminación va en aumento en altas concentraciones de riego de estos iones de cadmio, plomo, cinc y cobre. Es decir, estos metales no son degradables las cuales estos se esparcen por diferentes medios y con distintas características. En la actualidad no utilizan correctamente las aguas de riego para el sector agrícola por ende se debería seguir los protocolos en donde no se cause daños al medio ambiente con el fin de lucro económico (Reyes *et al.*, 2016).

Por otra parte, recientes estudios demuestra la presencia más del plomo en los huesos ingeridos por los alimentos y productos industriales, por ende nuestro cuerpo requiere y asimila pequeñas cantidades de estos iones, lo que hace daño a nuestro organismo son las altas concentraciones de las mismas ya que estas son muy toxicas (Londoño *et al.*, 2016). El aumento de la contaminación en aguas residuales son generadores de daños a nuestra salud y la del medio ambiente, por esta razón se busca una solución el reusó de las aguas residuales o contaminadas para la cual existen varios tipos de proceso que son de forma natural con altos costos, por ende se buscan otro tipo de tratamiento de menores costos y taca este problema con lo que nos da la naturaleza con barreras de vegetación la cual estas serían absorbidas de diferentes procesos físico químicos y biológicos (Rodríguez *et al.*, 2010).

Tabla 1

*Fuentes de contaminación y efectos sobre la salud de metales pesados*

<b>Metales pesados</b>	<b>Fuente</b>	<b>El ambiente afectado</b>	<b>Efectos en la salud</b>
Arsénico	Beneficio de menas, Refinación Plaguicidas	Aire Agua	Envenenamiento Trastornos Parálisis gastrointestinal de un miembro inferior
Plomo	Baterías, Gasolina contaminada de plomo, Baterías, Aleaciones, Soldaduras.	Aire, Alimentos Agua	Lastima el centro neurálgico, glóbulos rojos de la sangre de los seres vivos, la exposición va depender del mismo.
Cadmio	Plantas: Fabricantes de baterías	Aire Alimentos Agua	Dolores articulares por inflamación. Afecciones pulmón y riñones
Mercurio	Forma inorgánica: electronica Industria de cloro/álcalino Forma orgánica: plaguicidas, Funguicidas	Agua, Alimentos	desorden del centro neurálgico central, posiblemente psicosis Orgánico: Dificultad para pronunciar palabras, adormecimiento, parálisis y muerte
Cobre	Centros mineros Fundición no ferrosa	Agua, Alimentos	Nauseas, Fiebre lesiones renales Problemas en las vías respiratorias pulmonares.
Cromo	Fundiciones e industrias galvanoplastia curtiembres	Agua Alimentos	Un agudo envenenamiento Anula del organismo las células cáncer pulmonar, nauseas vómitos dermatitis y hepatitis
Zinc	Fábricas y talleres Soldaduras aleaciones no ferrosas Galvanizado, soldadura	Agua Aire Alimentos	Dolores musculares, lesiones en las vías respiratorias enfisema pulmonar nauseas, expulsiones

Níquel	Fundiciones	Aire	Problemas con asma, cáncer
	Talleres de:	Agua	pulmonar, lesiones de toxicidad.
	recubrimientos	Alimentos	

---

Fuente: Luna *et al.* (2009)

#### 1.1.4. Carbón activado de hueso como adsorbente

El carbón activado de hueso tiene la capacidad de adsorber, la cual es una investigación amplia que ha llevado durante los últimos años para encontrar adsorbentes de bajo costo y con una capacidad muy amplia de adsorber iones metálicos, la cual se efectúa naturalmente sin afectar ni contaminar a nuestro medio ambiente. El carbón de hueso se prepara a partir de los restos de huesos de animales que se calcinan a una temperatura y tiempo (Cristina *et al.*, 2006).

En la separación del aire se produce el fosfato de calcio con 10% C, y 90 % de fosfato de calcio de carbón fijo cierto es que tiene la capacidad de adsorber y de esta circunstancia lo emplean para decolorar disoluciones por ebullición en cantidades significativas (Luna *et al.*, 2009)

El Carbón de hueso es un material granular que se obtiene al carbonizar huesos de animales, principalmente de ganado vacuno, a ciertas temperaturas y niveles de oxígeno. El color del carbón varía según las condiciones de carbonización y puede ser negro, gris o blanco. El carbón de hueso gris es el que tiene la mejor capacidad para adsorber fluoruro en agua potable y también se utiliza como material decolorante en la refinación de azúcar de caña y como pigmento negro. El carbón de hueso tiene una alta capacidad para adsorber tanto aniones como cationes en solución acuosa, incluyendo fluoruro, cromato, dicromato y metales pesados. Esto se debe al alto contenido de hidroxapatita presente en el carbón de hueso (Ramos *et al.*, 2015).

#### 1.1.5. Carbón activado

El carbón activado es un material con las propiedades de los adsorbentes que se usan ampliamente en las industrias de todo el mundo debido porque son materiales con propiedades adsorbentes. Como es natural, esto se marca al tener una gran capacidad de adsorber debido a las áreas pocas profundas, con el objetivo de

aumentar su porosidad, esto permite alcanzar a la variedad o abundancia de moléculas. Los carbones activados se utilizan en medidas de descontaminación del medio ambiente, salud para disminuir los fármacos en gastrointestinales la cual poseen una capacidad de adsorción muy elevada lo cual es un beneficio en la parte médica, en las purificaciones de agua y del medio ambiente, demostrando así su potencial y beneficio, para los diferentes procesos de descontaminaciones en aguas, el carbón activado unas de sus características es la alta porosidad de una materia orgánica la cual son extraídas de huesos de animales o cascaras de cocos la cual estas se someten a altas temperaturas mediante el control de procesos adecuados de activación lo cual se obtiene diferentes variedades de carbones activados (Bonilla *et al.*, 2016). La elaboración del carbón activado se realiza con diferentes métodos la cual este proceso es transformar en un producto adsorbente con una mayor porosidad las estas se llegan a gasificar a altas temperaturas desde 650 a 1000 °C esto depende con tipo se realiza la activación (Rincón *et al.*, 2015).

El carbón activado es un material amplio que será utilizado en los tratamientos de aguas residuales, pero las propiedades de este material requieren un tratamiento especial las cuales estas tienen diferentes procesos es un carbón producido con alta porosidad y superficie interna con estructura reticulada cristalina parecido al grafito; la cual es extremadamente poroso con una superficie amplia estas se pueden producir o elaborar a partir de muchos materiales sólidos carbonosos de origen natural (Medina & Manrique, 2018)

#### **1.1.6. Procesos de obtención**

Varios procesos diferentes de producción de carbón activado son de materia orgánica la cual se realizan de la siguiente manera:

Activación química: es obtener carbón activado mediante la activación química se somete a altas temperaturas entre 400 y 800 °C la cual se activa con un ácido, una vez logrado obtener el carbón activado se somete a un tratamiento de diferentes procesos. Empezar por considerar que estas técnicas para algunos pueden ser inseguros por otra parte al usar como agente deshidratante cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ) y el ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) pueden permanecer en el producto final, aun así después del lavado (Bonilla *et al.*, 2016).

Activación física de vapor o térmica: En esta metodología se requiere trabajar a altas temperaturas es mejor, la cual se procede con una mezcla de gas de combustión porque el vapor de agua a temperaturas muy altas temperatura es mejor activación. La carbonización o descomposición térmica (pirólisis), se obtiene por descomposición térmica de la materia orgánica la cual se obtiene la estructura porosa de diferentes tamaños, que presentan diferentes propiedades adsorbentes. Se obtiene a partir de la, materia orgánica, como carbón mineral, cáscaras de nuez, madera, carbón, huesos, etc. (Bonilla *et al.*, 2016).

Las propiedades del carbón de hueso dependen de la materia prima, el proceso de carbonización y la temperatura. Se utilizan la fisisorción de nitrógeno para determinar propiedades de textura como el área específica, volumen y diámetro de los poros. El carbón de hueso es mesoporoso y tiene una superficie rugosa y porosa. Su composición incluye elementos como P, Ca, C, O, Si, Al, Na y Mg. También contiene minerales como hidroxiapatita, carbón y calcita (Ramos *et al.*, 2015).

#### **1.1.7. Adsorción con carbono activado**

El carbón activado es un producto que se obtiene para revalorizar y reutilizar como procesos de esta producción se utiliza mucho en la adsorción en las diferentes ramas ambientales, así como en la descontaminación de las aguas, ríos y por ende en las aplicaciones médicas por una intoxicación, también es utilizada en las remociones de biocontaminantes potabilización un proceso donde se determina las isothermas de adsorción un sólido se utiliza para eliminar sustancias que son soluble del agua.

Se producen diferentes tipos de carbones activados como son de origen animal, vegetal o mineral, las cuales otras se producen de materias amorfas carbón activo las cuales con el tiempo estos se forman con sus estructuras en forma natural también se emplean otros métodos como es la activación química pero esto va a depender mucho de los diferentes métodos de activación y los reactivos por ejemplo como haya antecedentes de las cascar de naranja, coco, café por ende cada materia presenta diferentes estructuras porosas, densidades las cuales estas son muy importantes para los diferentes tipos de adsorción que se aplica en las ciencia de medicina e ingeniería y del medio ambiente como en las aplicaciones de purificación y tratamientos de aguas (Luttera, 1985).

A pesar de la extrema importancia del proceso de adsorción y de hecho de que el carbón activado es un material adsorbente de gran importancia industrial las propiedades de este se determinan en diferentes soluciones utilizando diferentes variables de isotermas para los modelos de adsorción (Carriazo *et al.*, 2010)

Una posible y efectiva alternativa es el uso del carbón activado como material de adsorción en los diferentes procesos iones metálicos pesados la capacidad de adsorción del carbón activado, lo que lo hace ventajoso es la distribución de la carga superficial en relación al pH de la solución la cual esto explica la capacidad de adsorción de iones. La carga es positiva a pH menores (Ramos *et al.*, 2015).

### **1.1.8. Intercambio iónico en aguas residuales**

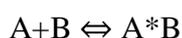
Atkinson (1998) indica en la actualidad se emplea en diferentes tipos y tratamientos en aguas ya sean contaminadas y residuales para disminuir eliminar diferentes sustancias como son metales pesados, el agua que tiene sentido y desmineralización para producir ultra agua pura, la cual elimina cualquier tipo de contaminantes no biológicos por ende el intercambio de iones tiene diferentes usos en la industria y en el hogar. Sin embargo, el costo de instalación conviene a las plantas y o industrias grandes mas no para aquellas plantas o industrias pequeñas ya que son muy costosas, los diferentes tipos de resinas se clasifican para diferentes tipos de tratamientos dependiendo el tipo de resinas para las regeneraciones con agentes químicos de ácidos y bases para la existencia de estos iones como son el magnesio y calcio tiene la posibilidad de aumentar el aumento de la inactiva (Lugo, 1967). Fuerza a fuerza de repulsión entre dos cargas proporcionales directas proporcional según a la ley de Coulomb.

El intercambio iónico es la reacción entre los iones en fase líquida y sólida, ciertos iones en soluciones son sujetados por el sólido de intercambio iónico, libera iones de reemplazo a la solución. Por lo cual el proceso de eficacia depende mucho del equilibrio la cual esto depende de la transferencia y velocidad de la materia (Carberry, 2000). Las cuales son muy utilizadas para diferentes tipos de tratamientos las cuales dentro de estas son las aguas y aguas residuales generalmente se utilizan para eliminar los iones metálicos que es un gran problema para nuestro medio ambiente, e eliminar la dureza de los iones producidas por  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  con la finalidad de reducir los iones metálicos ya que es un problema para

la salud (Sun-kou *et al.*, 2014). Esto a la vez es un proceso en el que los iones en solución se transfieren a una matriz sólida, que a su vez libera iones de diferente tipo, pero con la misma carga el intercambio iónico es un proceso de separación en el que los iones intercambiados no se transforman químicamente esta a su vez tienen principales ventajas en el proceso de intercambio iónico son la recuperación de valores metálicos, la selectividad, la menor formación de lodos y el cumplimiento de estrictas normas de descarga (Ivan *et al.*, 2015).

### 1.1.9. Adsorción

Los procesos de una adsorción en una sustancia de un líquido, gas o un sólido que se adhiere a la superficie del absorbente de una sustancia donde involucra las interacciones moleculares en la superficie del sorbente (interface entre las dos fases). Se determina el adsorbente por su capacidad de porosidad alta, con la capacidad de poros pequeños en la superficie interna dando lugar a la adsorción dando el mayor volumen para que se transporte. En síntesis, los adsorbentes son de separar sustancias. La siguiente reacción química se representa (Treybal, 1980).



Dónde:

A : Es un adsorbato o una sustancia adsorbida

B : Es un adsorbente

A\*B : Es un compuesto formado por la adsorción.



Figura 1. Adsorción

Fuente: (Viades, 2013)

Las sustancias concentradas en la superficie que se absorbe se llaman adsorbato la fase de adsorbato y adsorbente se produce una reacción de los disolventes o solutos combinados. La adsorción se utiliza de diferentes maneras o técnicas para eliminación de varias sustancias tóxicas como metales pesados con iones de metal

bajo (Volesky *et al.*, 1990). En el caso de acumulación de sustancias solidas sobre una superficie sólida, este fenómeno se denomina adsorción la cual depende de la fuerza de adsorción la adsorción se clasifica como adsorción física o adsorción química, interacción entre soluto y adsorbente la cual en la adsorción física el calor de adsorción es relativamente pequeño y la atracción entre moléculas en la solución depende de la superficie del adsorbente es débil como la fuerza de vandeer Waals por otro lado en la quimiosorcion las moléculas adsorbidas están expuestas, las cuales las fuerzas de valencia en la superficie son las mismas que entre los átomos enlazados en las moléculas las cuales estos tipos ocurren a alta temperatura (Amazquita, 2010). La adsorción depende de la capacidad de absorbancia la cual se puede utilizar para el tratamiento de aguas residuales y contaminadas la cual será una alternativa prospecto con el carbón activado de hueso de alpaca la cual es un desperdicio de la naturaleza así lograr remover en una gran mayoría de metales pesados y lograr con bajos costos con el carbón activado para determinar las variables de producción y operación la cual modifica su capacidad de adsorción (Lara *et al.*, 2016).

#### **1.1.10. Isotermas de adsorción**

Cuizano & Navarro (2008), los modelos de isoterma de adsorción de Langmmuir y Freundlich se utilizan bastante para unos buenos resultados en agua y aguas residuales las cuales estas representan la distribución de moléculas adsorbidas entre las fases liquida y sólida cuando el proceso de adsorción alcanza el equilibrio, las cuales estos modelos revelan los mecanismos de la capacidad de adsorción las estas están determinadas por la naturaleza química de cada catión que existe tetravalente.

La adsorción de isoterma es la relación de equilibrio entre la concentración de solutos en la fase liquida donde disminuye cuando que es captado en base solido la cantidad de adsorbato van a aumentando gradualmente a la superficie hasta ser constante incrementando según el tiempo con las partículas de adsorbentes a una temperatura especificada. La capacidad de eliminación de equilibrio y una concentración que se obtiene por las concentraciones iniciales la cual se denomina isoterma es la relación de equilibrio que se distribuye en la fase liquida como en la fase solida (Viades, 2013).

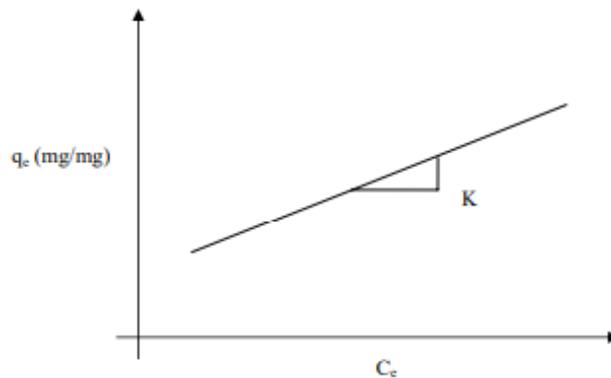


Figura 2. Isoterma

Fuente: (Viades, 2013)

Dónde:

K donde es la constante de equilibrio de la reacción y se representa una adsorividad con una finalidad de ser adsorbido.

C<sub>e</sub> concentración del adsorbato es un proceso de adsorción.

#### a) Modelos matemáticos

Las ecuaciones de las isotermas de adsorción se ajustan a las diferentes formas experimentales en quimisorción, depende de la presión y temperatura el modelo Langmuir, distintas relaciones de concentraciones el modelo de Freundlich, para los que son superficies está el modelo de Brunauer –Emmet y Teller para la elaboración y establecer la isoterma de absorción de agua o aguas residuales o un producto alimenticio, los métodos más utilizados es el análisis gravimétrico, que se las en las determinaciones del contenido de humedad de una muestra después de haberla equilibrado las cuales se determinan los característicos en los diferentes parámetros (Viades, 2013).

Existe varios modelos matemáticos lineales las cuales fueron utilizados en diferentes procesos para elaborar para ver los tipos de adsorción en la eliminación y modelación del carbón activado por ende este describe el comportamiento en las remociones para observar los modelos de las curvas, rupturas, parámetros y variables ya que su uso común es en la adsorción de metales pesados donde también se relaciona con concentraciones y tiempo (Sepulveda, 2014).

Actualmente hay una amplia gama de modelo se han utilizado matemáticos para describir y predecir las curvas de degradación en sistemas de fase liquida o gaseosa utilizan estos modelos para ver las degradaciones de los metales pesados utilizando carbón activado no solo se utiliza para estos metales pesados también utilizan algunos autores para modelar y ver el comportamiento para eliminar el colorante catiónico las cuales estas predicen las curvas y parámetros. (Lara *et al.*, 2016). Los diferentes modelos matemáticos de isotermas de adsorción se detallan en la tabla 2.

Tabla 2

*Isotermas de Adsorción*

Isotermas de Adsorción	Ecuaciones	Donde
<b>FREUNDLICH</b>	$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n}$	x/m = Es la masa de adsorción por una cantidad de masa de adsorbida K <sub>f</sub> , 1/n = Es un factor de la capacidad de intensidad de Freundlich C <sub>e</sub> = Es la concentración en el agua de la adsorción en equilibrio a, b = Son constantes.
<b>LANGMUIR</b>	$\frac{x}{m} = \frac{abc_e}{1 + bc_e}$	a = cantidad adsorbida de soluto. am = adsorción cuando se forma la mono capa.
<b>BET</b>	$\frac{P/P^0}{a(1 - P/P^0)} = \frac{1}{a_m c} + \frac{C - 1}{a_m c} \frac{P}{P^0}$	C = Constante que relaciona la adsorción (DHv).

Fuente: Volesky *et al.* (1990).

Las más destacadas isotermas son los modelos de Langmuir y BET, Weber, W.J. (1979:120), menciona que el modelo para la adsorción capa simple es langmuir,

sin embargo para diferentes tipos de capas o multicapas se utilizan los modelos de Brunaver, Enmett y Teyler (BET) (Viades, 2013).

Por otro lado, ambas ecuaciones están limitadas por la teoría de energía de adsorción uniformemente distribuida sobre la superficie. La cual se detalla en el siguiente gráfico, la isoterma Langmuir, BET tiene la forma indicada a la Fig. 3. La isoterma de BET, la cual el límite de la adsorción es mono capa al modelo de Langmuir (Volesky *et al.*, 1990).

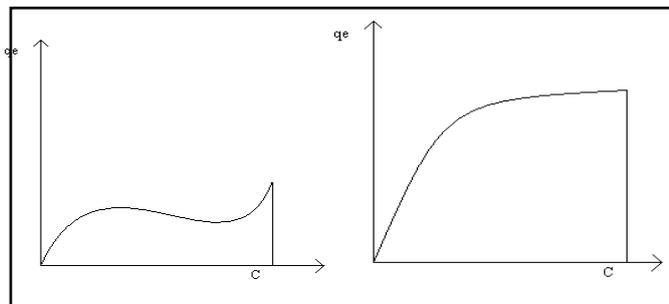


Figura 3. Isotherma de Langmuir e Isotherma de BET

Fuente: Volesky *et al.* (1990).

Donde:

C: Concentración de la solución

qe: Moles de soluto adsorbido por gramo de adsorbente.

### 1.1.11. Cinética química

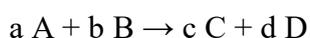
La cinética estudia la velocidad de formación de las reacciones químicas y también de su mecanismo de los procesos que alteran su velocidad de las reacciones que comprenden las variaciones de las concentraciones y el tiempo. La cinética química son los factores que influyen como los reactivos se transformen en productos los iones o átomos que están involucrados deben de estar con energía cinética donde pueden formar reacciones químicas (Levenspiel, 1987). Es muy importante determinar la velocidad estos iones metálicos las cuales se adhieren en un biosorbente las cuales son controladas en diferentes procesos, las cuales estas nos permiten determinar diferentes parámetros de procesos de un tratamiento. Donde estas también permiten considerar que tipos de modelos cinéticos de pseudo primer orden o modelo de evolich podemos utilizar dependiendo de la concentración de una muestra de trabajo (Vera *et al.*, 2016).

La cinética de adsorción estudia la influencia de la concentración y temperatura las cuales se deben realizar pruebas para determinar la capacidad de remoción máxima, la importancia de su velocidad de eliminación del ion metálico de la solución, la cual esto depende de una constante de velocidad las cuales estos determinan los modelos de la capacidad de adsorción (Acosta *et al.*, 2017).

### 1.1.12. Velocidad de reacción

La velocidad de una reacción es el cambio en tiempo medido por los reactivos pasan a producto. Las concentraciones de cada uno de los compuestos es un criterio para determinar el tiempo (TreybaL, 1980).

Donde la ley de la velocidad y el orden ordenes de reacción son los siguientes:



Ley de velocidad:  $v = k [A]^m [B]^n \dots$

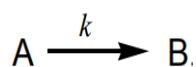
Dónde:

$m, n \dots =$  órdenes de reacción parcial  $m + n + \dots =$  orden de reacción total

$k =$  constante de velocidad (función de la temperatura, la propia reacción si con catalizador).

Ecuaciones de velocidad integradas para concentraciones de reactivos y el producto en función del tiempo se obtiene integrando la ley de la velocidad (Levenspiel, 1987).

Reacción de primer orden.



La velocidad de desaparición de A es:

$$V(t) = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

$$\ln[A]_t = \ln[A]_0 - Kt$$

$$\ln \frac{[A]}{[A]} = -Kt$$

Reacciones de segundo orden

$$v(t) = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$$

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + Kt$$

Tiempos de vida media se representa como  $t_{1/2}$  para la disminución de su a la mitad de su valor inicial.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

### 1.1.13. Influencia de la temperatura

Datos experimentales para efectos de temperatura conocidos la cual se conocen una reacción química es cuando la velocidad de una reacción aumenta la temperatura, no todas las moléculas de los reactivos tienen la misma energía, energía cinética, algunos tienen energías grandes y otras pequeñas. A medida que aumenta la temperatura, se hace mayor el porcentaje de moléculas de energías, por lo que generalmente aumente la velocidad de la reacción. (Harwood, 2003).

### 1.1.14. Influencia del pH

La influencia del pH. es un factor vital en la adsorción en los iones metálicos depende de la carga de ionización de cada metal por ende estos sirven para optimizar la eliminación de dichos metales, la cual en el primer valor que el pH, cambia durante el proceso de adsorción de iones, en algunos casos permanecen sin cambios durante el proceso de adsorción (Vera *et al.*, 2016). La influencia del pH. encontrando durante los experimentos puede explicarse por el pH. en la carga de la superficie de la adsorción neutra al mantener la muestra en una solución a un pH las cuales algunos actúan según a su carga eléctrica (Vizcaíno *et al.*, 2017).

### 1.1.15. Influencia del tiempo de contacto

Para el tiempo de contacto de una muestra de iones metálicos, la cual es de suma prioridad ver el tiempo de contacto que se adhiere las cuales estas son muy importantes para las determinaciones de procesos sobre la capacidad de adsorción de los iones metálicos y se toma en cuenta el pH. para obtener mejores resultados, el área de contacto entre los reactivos aumentara el número de moléculas no solutos tienen el mayor grado de fragmentación o reacción suele ser veloz. (Vera *et al.*, 2016).

## 1.2. Antecedentes

Los problemas del medio ambiente en resumen son los metales pesados como plomo cadmio entre otros es un tema amplio en la actualidad, viéndose perjudicial para nuestra salud y la contaminación debido al impacto negativo a nuestro lago Titicaca. Los diversos ecosistemas la acumulación de contaminantes a niveles de toxicidad a nivel mundial el medio ambiente está superando la capacidad de contaminación.

En la región de Puno aún no se encontró un trabajo o estudio similar del empleo del carbón activado del hueso de alpaca es decir como adsorbente de diferentes tipos de muestra o de plomo y cadmio en diferentes tipos de aguas o en aguas residuales, son pocos los informes científicos sobre el uso de carbón activado sobre la adsorción de metales pesados,

Se detalla a continuación los siguientes investigadores tales como son:

Panikkar *et al.* (2010) reportan que la calidad de agua en riegos muestra que hay diferentes metales pesados como el plomo cadmio las cuales aumentan con el agua ennegrecida o aguas residuales y residuos municipales se considera un riesgo para la salud de las personas como en animales, el tratamiento puede ser la solución a muchos problemas ya que necesitan desarrollar tecnología para las aplicaciones y economía, las cuales todos debemos aplicar métodos de alternativa natural lo cual el grado de tratamiento puede ser integrado a un diseño flexible

Albarracin (2014) encuentra que los metales pesados son de 0.162 mg/l de plomo y cadmio 0.412 mg/l (CORPLAB- Arequipa).

Acuña (2018) determino la capacidad de adsorción de plomo (II) utilizando carbón comercial en el tratamiento de agua contaminada. Por esta razón, tomo cinco puntos de muestreo de las aguas del lago Junín, haciendo un total de 40 muestras de las mismas que se dividieron aleatoriamente en 20 frascos aplican una dosis de 0.05 gramos de carbono activado, y a otras dosis de 0.1 g activadas por carbono, y en cada una división se realiza con un pH diferente (6 y 8) para luego enviar una muestra diferente al agitador horizontal. El mejor tratamiento de adsorbente fue con 100 rpm de velocidad de mezcla y pH 8, alcanzando así un porcentaje que varía de 88.5% a 91.8% de extracción.

Calcina (2007) concluye que hay una muestra sobre Ramis e Illpa para Orestias Sp presentan, los niveles de concentración de metales pesados están por encima del límite permitido de consumo humano en los elementos de Pb, Zn, Hg y Cu.

Calcina (2007) determinó la presencia de metales pesados en las desembocaduras de los ríos ramis e illpa del lago titicaca de Hg, Cu, Pb, Cr, Cd, Zn y As en músculo y branquias de Orestias sp y en tallo aéreo de Schoenoplectus totora, la cual encontraron la mayor concentración de metales pesados por encima del límite permisible la cual no es apto para consumo humano estas muestras fueron tomadas en Ramis e Illpa para Orestias sp los elementos Cu, Pb, Zn y Hg. Los niveles encontrados en Schoenoplectus totora para los elementos Cu, Pb, Cd y As las cuales estos son de nivel de tóxico muy bajo, pero el Hg es tóxico medio alto, la cual está se considera en el rango normal de las concentraciones en las plantas por ende esto no daña el sistema del ganado.

Campos (2008) concluyo que el tratamiento de sorción muestra que el Cr (VI) sigue un mecanismo que Langmuir la cual forma en el adsorbente una monocapa.

Castro (2017) La cual determino la contaminación por metales pesados de cadmio y plomo en agua, sedimento y en mejillón en los puentes perimetral 5 de junio el Cd se encontró solo en agua una velocidad  $0,016 \pm 0,002$  ppm el Pb  $0,283 \pm 0,015$  ppm y  $0,301 \pm 0,058$  en agua respectivamente. El Cd y Pb se obtuvo una mayor concentración de 47,75 - 135,29 ppm en Pt y de 20,65 - 248,70 en Pe, esto no se detectó en sedimento. El Cd y Pb  $2,30 \pm 0,79$  ppm y  $4,18 \pm 1,97$  en Pt y Pe, en altas concentraciones, la cual esto no es factible para el consumo humano ya que superando las máximas permitidas. En los mejillones hicieron las pruebas la cual no tuvieron resultados favorables la cual no se acumulan las concentraciones de Pb en agua.

Daniela *et al.* (2018) llegan a la conclusión que el uso del carbón activado sirve en el tratamiento de aguas para obtener el carbón activado, para el tratamiento de aguas residuales con mayor frecuencia de cargas la cual tienen un procesos de preparación químico y físicos a la forma de elaboración para obtener un material con mayor superficie y porosidad activando con ácido fosfórico y pueda subir el rendimiento a diferentes temperaturas aumentado de 5 en 5°C la cual llegó a 500°C en una mufla la cual se evita el contacto con el aire con un tiempo de 24 horas para ser utilizados en las diferentes áreas medios ambientales. Recomienda que se puede realizar con diferentes agentes químicos y técnicas en aguas contaminadas.

Garcés *et al.* (2012) concluye que la evaluación de la capacidad de adsorción en las cáscaras de naranja puede eliminar el Cr (VI) en agua sintética, pero la cáscara de naranja modificada en quitosano, la cual tiene una capacidad de adsorción de iones  $Cr^{+6}$ , tiene una pequeña capacidad de adsorción la cáscara de naranja, sin embargo en su estructura molecular, estas dos biomasa pueden considerarse una buena alternativa con el contenido de iones de cromo para el tratamiento de aguas residuales:.

García *et al.* (2012) determino que, sin embargo, la eficiencia de este proceso depende en gran medida del tratamiento que se aplique a los biosorbentes seleccionados que la adsorción representa una solución alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

Lavado *et al.* (2010) determinaron la adsorción de plomo en efluentes industriales usando carbones activados a partir de astillas de eucalipto (*Eucaliptus globulus* Labill), con un agente químico de ácido fosfórico, investigaron 2 parámetros las cuales esto afecta los procesos de adsorción de plomo 142,1 mg Pb/g lo cual logro absorber 99.9 % de la contaminación industrial viendo así la temperatura pH y el tiempo de contacto, estos materiales se determinaron la adsorción N a -196 C, SEM y FTIR.

Lara *et al.* (2016) concluyen que la adsorción de plomo y cadmio en un sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de la cáscara de cacao tiene una capacidad de adsorción de iones Pb (II) en agua sintética, que logro eliminar a un porcentajes de 91,32% del plomo y 87,80% el Cadmio, se mantuvo a una densidad constante de 0,0365g/cm<sup>3</sup> las cuales los resultados obtenidos para los metales de plomo y cadmio, obtuvieron una correlación con el modelo de Thomas (R=0,99).

Laupa (2016) determino la adsorción con carbón activado de cadmio obteniendo un valor de 3.720 mg/g con un tiempo de 100 minutos, el modelo que utilizo fue de la cinética pseudo segundo orden con una forma lineal  $q_e$  experimental 3.825mg/g,  $q_e$  teórico 3.823mg/g y  $R^2$  de 1.0000. Los resultados obtenidos fueron de  $q_e$  es 3.050mg/g, con un pH 7 y su  $q_e$  es 3.700mg/g con un pH 9,  $q_e$  es 3.420 mg/g, un pH 4 su  $q_e$  resaltando que, a una mayor temperatura, la adsorción será mayor a un pH neutro.

Luque *et al.* (2012) concluye que el kikuyo es efectivo para eliminar el Pb (II) de aguas contaminadas simuladas, superando la productividad de adsorción de otros biosorbentes de referencia.

Moreno *et al.* (2017) determinaron la determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior en el Lago Titicaca en Perú. Fue interactivo, entre enero y noviembre del 2016, el método teórico para las seis estaciones la cual hacen comparaciones la cual seleccionan y esto lo aplican a través de muestreo no convencional por conveniencia As, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn, se determinaron y cuantificaron mediante el método de absorción de átomos de enlace inductores y equipado con una vista axial (ICP-AES). En la estación, no hubo diferencias significativas estadísticamente a ( $p \leq 0.05$ ) cuando estos compararon cada elemento por su estación vieron las diferencias para las diferentes estaciones sobre todo en las estaciones de lluvia.

PELT (2007) hay evidencia de la contaminación de los resultados de análisis de metales pesados, para 15 puntos de muestreos en la cuenca del rio Ramis debido a la minería y existe en el rio Poma huasi (puente) 0,418 mg de Pb/l esto muestra que el rio tiene contaminación principal que excede el rango permitido.

Reyes *et al.* (2016) Determinaron que la contaminación por metales pesados la cual implica en la salud, ambiente y seguridad alimentaria en el medio ambiente por metales pesados en el agua, suelo y los recursos de plantean uno de los problemas más graves que ponen en peligro la seguridad alimentaria y la salud pública a nivel mundial la cual manejan los problemas generados por mercurio (Hg), Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) esta contaminación presenta problemas para el consumo humano en la parte de alimentos.

Rodríguez *et al.* (2010) Determinaron que un mejor rendimiento, con un equipo de diseño de buchón formado con de agua fue desde su periodo de estabilización fue entre 70 y

86%, la cual este equipo funciona con lenteja de agua en un reactor, la cual remueve el 58% la cual tiene un periodo la cual también ven el pH aumenta con sus valores máximos de 11 la cual esto es debido a las diferentes condiciones que favorecen a la estabilización de condiciones de la plantas biológicas propias.

Silva *et al.* (2008) Determinaron que los reúsos de aguas residuales domesticas en agricultura la cual se recomiendan para plantas, cultivos, por ende, en América Latina hay un alto uso en las plantas de cultivos de consumo directo, como las verduras que representan el riesgo a la salud pública que deben considerarse. Además del tipo de plantas, el requisito mínimo para el uso de aguas residuales seguras en la agricultura debe determinarse por quien, en términos variables microbiológicas y calidad física química por la OMS, FAO. Además, como en las aguas residuales hay elementos que pueden afectar a los cultivos como principal factor es el suelo.

Sun-kou *et al.* (2014) Concluyeron la adsorción de metales pesados empleando carbones activados de la semilla de aguaje fue utilizada para preparar carbón activado, empleando como agente activante el ácido fosfórico las cuales se emplearon a diferentes concentraciones: 0,75 y 1,0 g /g. Las cuales estas se utilizaron para la adsorción de metales pesados como son: Pb, Cd y Cr su capacidad de adsorción son de plomo 74,8 mg g, cadmio 26,5 mg g, cromo 18,8 mg g, a un pH mayor a 4 el principal factor es la influencia en el proceso de adsorción la cual lograron una estructura porosa y una acidez superficial.

Tejada *et al.* (2012) determinaron que los bioadsorbentes prefabricadas químicamente las tenciones tienen un mayor porcentaje de remoción que los que no han sido modificados, la biomasa con los mejores resultados fue la cascara de arroz, para el mercurio, que se modificó con ácido sulfúrico con una remoción de 384,6 mg/g. y para el cadmio, modificado con álcalis con una remoción de 125,94 mg/g. Además, la cinética del proceso de adsorción, se determinó en la mayoría de los experimentos, mediante la ecuación cinética de pseudo segundo orden.

Tejada *et al.* (2012) Llegaron a la conclusión que la adsorción de Cr (VI) utilizando el carbón activado a partir de la cascara de naranja tiene la textura y la superficie la cual tiene la función de adsorber con una gran potencialidad de adsorción del 68% de la cáscara de naranja y 98% para el carbón activado de la cascara de naranja debido al comportamiento químico con la que se trata o se activa esta, la cual se debe al tamaño de

la partícula y la relación de adsorbente por litro de una muestra contaminada a partir de la misma a condiciones favorables de pH.

Tejada *et al.* (2014) llegan a la conclusión que el uso de la adsorción en la eliminación de contaminantes en una solución de agua mediante el uso de la biomasa residual se aplica a estos procesos de descontaminación que evitan problemas posteriores como la generación de lodo químico y generan el uso sustituido de materiales que se consideran residuos.

Tejada *et al.* (2016) llegaron a la conclusión que el aprovechamiento de la cáscaras de yuca ñame para el tratamiento de aguas residuales la cascara de yuca se elaboró con un tratamiento con ácido cítrico la cual evaluaron para la adsorción de Pb(II). Teniendo en cuenta los rangos de partículas de adsorción de 0.5 a 1mm a un pH de 6. La cual midieron el metal sobrante en la espectroscopia de absorción atómica. La cual obtuvieron una capacidad de adsorción de 52.34 y 98.36mg/g para las cáscaras de yuca. Encontrando así el modelo de Elovich y la isoterma de Langmuir y Freundlich que se ajustan adecuadamente los datos experimentales de adsorción.

Tovar *et al.* (2016) obtuvieron resultados por remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja y el zuro de maíz la comparación se realiza entre la biomasa utilizada, variando el tamaño de las partículas y el pH, para así determinar las mejores condiciones de adsorción. Se descubrió que la biomasa presenta una mayor capacidad de adsorción para un tamaño de partícula de 0,5mm, para el zuro de maíz y 1mm, en cáscara de naranja, a un pH de 6, un valor de eliminación de 67,5% y 99,2%, cada uno. Se utilizan diferentes modelos cinéticos de adsorción de Pb (II), siendo así el modelo de pseudo primer orden; por otro lado, el modelo de isoterma que está más adaptado a los resultados obtenidos es propuesta por Freundlich.

Vera *et al.* (2016) obtuvieron resultados de eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras a partir del bagazo de caña de azúcar como biosorbente para eliminar estos metales tales como plomo y cadmio de las aguas residuales de las centros mineros. Estudiaron la influencia del pH, la concentración y el tiempo de contacto, y los tipos de biosorción cinética. El mejor porcentaje de cadmio fue del 77.81% a un pH 6, y plomo 99.76 a un pH 5, que alcanza un tiempo de 10 minutos. La cual observan que a medida aumenta la concentración del plomo y cadmio éste aumenta la cantidad por gramos adsorbidos. La cual dan datos experimentales se acogen al modelo de Elovich y



de pseudo segundo orden, con un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) para el plomo de 1 y para el cadmio de 0,998.

Vizcaíno *et al.* (2017) Determinaron la capacidad de adsorción de remoción de  $Pb^{+2}$  en una solución acuosa, con tallos y hojas a una calcinación de 700 y 800 °C para lo cual hicieron pruebas con adsorción, pH y tiempo de contacto la cual analizaron la temperatura determinaron también el equilibrio de correlación aplicando los modelos Langmuir y Freundlich. La cual el óptimo en ajustarse fue el de Langmuir, con  $R^2= 0,9816$  TEC y  $R^2 = 0,9854$  HEC, lográndose así la capacidad superior de adsorción de 172,41mg/g TEC y 131,58mg/g HEC, con 0,2g de biomasa/200mL, pH 5,5 y 3h de contacto.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

El problema de contaminación de las aguas residuales del Lago Titicaca se origina a través de sus ríos afluentes, cuya calidad son alterados por las descargas de aguas servidas, desechos sólidos, residuos de fertilizantes, industriales, mineros y otras fuentes de contaminación que se encuentran ubicadas a lo largo de la cuenca hidrográfica del lago Titicaca. A causa de esta contaminación están desvaneciendo las especies vivas como fauna y flora que habitan en nuestro lago, las aguas provenientes de desechos orgánicos de toda la población especialmente de las lagunas de oxidación o aguas residuales por ende no reciben el tratamiento apropiado, consecuentemente no hay sistemas de tratamiento por esta razón es un problema el manejo de las aguas residuales debido a un costo alto que las entidades no pueden pagar.

En la actualidad es una amenaza las aguas residuales ya que estas crean enfermedades, estas aguas residuales en la ciudad de Puno, no son depuradas correctamente ya que son descargadas en la laguna del espinar que ocupan un área aproximada de 23 hectáreas. La mayor parte son desembocadas a la laguna lo cual se encuentran en la zona sur – este de la Isla Espinar de la ciudad de Puno, el vertido debería depurarse antes de su eliminación lo cual estos efluentes se debería dar un tratamiento antes de llegar a la bahía así dando lugar a un proceso de eutrofización en las aguas de nuestro lago Titicaca. esto a su vez, origina la contaminación de metales pesados.

Las aguas residuales nos afectan ya que tienen agentes patógenos ya que esto fluye la mayor parte al lago Titicaca aprovechan el transporte libre con los agentes toxicas y metales pesados identificados con mayores problemas de salud y ambientales.

## **2.2. Enunciados del problema**

Ante el aumento de concentraciones de las aguas residuales, es necesario tomar acciones sobre los metales pesados asimismo para la eliminación de estas con vías naturales, utilizando los mismos recursos naturales ya que estos provocan a la cadena trófica la contaminación dañando en la salud a los seres vivos, animales, agricultura, y el área biológica en consecuencia esto causa serios problemas ambientales, sociales y económicos. Es por esta razón la falta del tratamiento de las aguas residuales de la laguna del Espinar de la ciudad de Puno que aqueja la realidad de nuestra Región se plantea las siguientes interrogantes:

### **2.2.1. Pregunta general**

- ¿Cómo evaluar la adsorción de plomo y cadmio con carbón activado de hueso de alpaca en aguas residuales de la laguna de espinar – Puno?

### **2.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuánto será el nivel de adsorción de iones metálicos pesados de cadmio (Cd) y plomo (Pb) utilizando carbón activado de hueso de alpaca como adsorbente en aguas residuales de la laguna del Espinar de la ciudad de Puno?
- ¿En qué medida la adsorción de cadmio y plomo utilizando el carbón activado de hueso de alpaca será una alternativa para la disminución de la concentración de cadmio y plomo en aguas residuales de la laguna del Espinar de la ciudad de Puno?
- ¿En qué proporción de las propiedades fisicoquímicas y los agentes activantes del carbón activado de hueso de alpaca influenciaran en la activación de cadmio (Cd) y plomo (Pb)?

## **2.3. Justificación**

La contaminación de plomo y cadmio en aguas residuales de la ciudad de Puno, es un problema ambiental, se ha formulado estudiar, desarrollar y aplicar tecnología utilizando productos naturales como el carbón activado de hueso de alpaca para la adsorción de iones metálicos pesados, pues la contaminación causada por la presencia de estos iones es en la actualidad uno de los problemas ambientales y de salud más importantes. Con el

propósito de validar un método, control de parámetros y obtener nuevos datos que nos provean de información confiable para la utilización del carbón de hueso de alpaca como adsorbente natural, lo cual nos permitirá contribuir a solucionar o mitigar la problemática ambiental.

La peligrosidad de los metales pesados como plomo y cadmio son elementos tóxicos para los seres humanos estos se presentan con una densidad alta, cabe decir que su concentración en los seres vivos desarrolla a medida que son introducidos por otros, por lo que ingieren de plantas o animales contaminados pueden provocar síntomas de intoxicación. En lo habitual, los metales pesados como plomo y cadmio pueden llegar al cuerpo humano a través del agua, aire y alimentos o con el contacto de la piel como pueden ser en la agricultura e industrias de fabricación y/o farmacéuticas.

Las aguas residuales sin tratamiento pueden generar enfermedades y contaminar el lago Titicaca y su medio ambiente con la presencia de los metales pesados ya que estas provienen salud, hogares, diferentes instituciones, universidades de la región de Puno (prácticas de laboratorios) las aguas residuales aumentan considerablemente la carga orgánica y concentraciones de compuestos tóxicos. Con el aumento de la población las lagunas de oxidación trabajan sobrecargadas las cuales generan malos olores provocando el malestar en las personas que viven alrededor y la contaminación en nuestra bahía del lago Titicaca.

Los resultados del presente proyecto de investigación serán un aporte científico que contribuirá a la identificación de un pasivo ambiental, el impacto que genere permitirán minimizar la contaminación toxica de cadmio y plomo a través de la adsorción de estos metales con carbón de hueso de alpaca en aguas residuales de la laguna del espinar de la ciudad de Puno.

### **2.3.1. Justificación social**

La población de la ciudad de Puno, podrá ser beneficiada con la eliminación de los metales pesados de cadmio y plomo de las aguas residuales ya que estas serán adsorbidas por el carbón de hueso de alpaca activado. Las aguas residuales están ubicadas en la Isla Espinar y el sur de la ciudad de Puno, al frente del cuartel Manco Cápac y el barrio de Chanu – Chanu a una altura de 3810 m.s.n.m., de la ciudad de Puno, lo que indica un impacto ambiental favorable y, utilizar las aguas residuales

tratados en diversas aplicaciones agrícolas que beneficiaran a la población que vive alrededor de la laguna del espinar de la ciudad de Puno.

### **2.3.2. Justificación económica**

En el lago Titicaca se origina la contaminación ascendente en estos últimos años en la ciudad de Puno, ocasionando así el aumento de sus servicios en la región.

Los métodos para la eliminación de metales pesados que existen en su gran mayoría para el tratamiento de estos metales pesados (precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, etc.), son muy costosos en algunas veces resultan muy ineficaces, tratándose de concentración de metales es muy bajo. Frente a estas tecnologías, para diferentes sistemas biológicos y químicos para la eliminación de de estos metales pesados, a partir de este problema que se presenta en nuestra región es por lo que optamos utilizar el carbón de hueso de alpaca utilizando productos naturales en aguas residuales de la laguna de espinar de la ciudad de Puno, esto establece la viabilidad a nivel del estudio preliminar a un menor costo.

La adsorción es una alternativa para la disminución de estos metales tóxicos en los diferentes tipos de aguas y aguas residuales ya que es rápido el proceso y no en todas resulta eficaz para el tratamiento de grandes volúmenes de efluentes, ya que generalmente sería favorable para abastecer el agua tratada para en riegos.

### **2.3.3. Justificación ambiental**

La justificación ambiental se evaluará realizando el impacto de las aguas residuales que deberían ser tratadas antes de llegar a la laguna para ser desembocada en la laguna del espinar y de sus usos. La cual se debería de tomar en cuenta otros impactos negativos. La evaluación debe de permitir identificar los métodos de adsorción de estos metales pesados como son cadmio y plomo.

Estudios nuevos no priorizan o no se le da mucha importancia a la secuela que deja estas aguas residuales que son desembocadas directamente de instituciones, salud y otros ya que estas dejan secuela negativa en nuestro entorno del medio ambiente y al ser humano. En la actualidad se sabe sobre estos elementos, cuya manifestación se en el ser humano como es la de salud de retardos, dolores estomacales, dolor de cabeza y así varios tipos de enfermedades. Por ende, debemos cuidar nuestro medio

ambiente y hacer un tratamiento de las aguas residuales antes que desemboque en las lagunas de estabilización y así poder tener una menor contaminación de nuestro medio ambiente y por ende de estos metales tóxicos.

#### **2.3.4. Justificación técnica**

En las aguas del lago Titicaca existe metales pesados por ende en las aguas residuales también con la problemática expuesta los que destacan diferentes tipos de metales totales aproximados tales como plomo (0.011 ppm) y cadmio (0.017 ppm)), los cuales son un problema de salud pública y la contaminación de nuestro lago Titicaca (Moreno *et al.*, 2017)

La prioridad es conocer la velocidad de adsorción de iones metálicos pesados en solución para determinar los siguientes metales cadmio (Cd) y plomo (Pb), El cual dará solución a los problemas que presenta en las aguas residuales de la laguna del espinar de la ciudad de Puno.

Con la intención de admitir un método, obtener nuevos datos que nos permitan la información confidencial para la utilización del carbón de hueso de alpaca para la adsorción de iones metálicos pesados como adsorbente natural, lo cual nos permitirá solucionar o disminuir la problemática ambiental.

### **2.4. Objetivos**

#### **2.4.1. Objetivo general**

Evaluar la adsorción de plomo y cadmio con carbón activado de hueso de alpaca en aguas residuales de la laguna de espinar – Puno.

#### **2.4.2. Objetivos específicos**

1. Determinar las propiedades físicas, químicas y los agentes activantes del carbón activado del hueso de alpaca para la adsorción de plomo y cadmio.
2. Determinar el equilibrio iónico de adsorción del carbón activado del hueso de alpaca.

## **2.5. Hipótesis**

### **2.5.1. Hipótesis general**

El carbón activado tiene la capacidad de adsorber metales pesados en aguas residuales

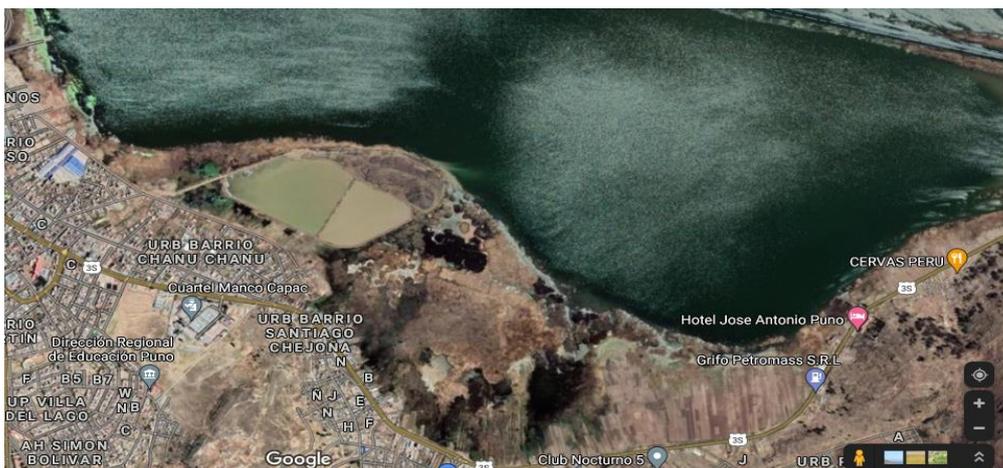
### **2.5.2. Hipótesis específicas**

- 1.** Las propiedades físicas, químicas y los agentes activantes del carbón activado de hueso de alpaca adsorberá los metales pesados como cadmio (Cd) y plomo (Pb).
- 2.** Con los parámetros de la cinética química será posible determinar el equilibrio iónico de la adsorción del carbón activado de hueso de alpaca.

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Lugar de estudio

Se realizó en la laguna de Estabilización de las aguas residuales “El Espinar”, de la ciudad de Puno, está ubicada en la Isla Espinar al extremo sur de la ciudad, frente al cuartel Manco Cápac entre los Barrios de Chanu - Chanu, a una altura de 3810 m.s.n.m. Los ensayos que se realizaron para la adsorción de los metales pesados fueron realizados en los laboratorios de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias y el mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, todos ellos ubicados en la Región de Puno, departamento de Puno, todo esto se llevó a cabo a una altitud de 3850 m.s.n.m, una presión de 487 mmHg. y a temperaturas variables de 14 a 16 °C.



*Figura 4.* Laguna de las aguas residuales “El Espinar” zona de muestreo

Fuente: Google maps (2019)

### 3.2. Población

Según el INEI (2019) la ciudad de Puno está constituido por 1'471,160 de personas, la que es del 4.4% representa la población nacional, que viven dentro de la ciudad.

Las aguas residuales de la laguna de Estabilización “El Espinar”, están contaminadas ya que esto representa un peligro a la ciudadanía de nuestra ciudad de Puno.

### 3.3. Muestra

De hecho, la muestra fue aleatoria por utilidad, evidentemente es conveniente conocer el grado de contaminación de metales pesados en las aguas residuales de la Laguna de Espinar ya que esta desemboca directamente a nuestro lago Titicaca, se recolecto muestras de aguas residuales en botellas de vidrio a una profundidad de 20 cm. Para ser llevadas al laboratorio y determinar los iones metálicos que existen, la cual se procede con la adsorción de estos metales pesados en los laboratorios de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias y el mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Luego se realizó las pruebas de ensayo tomando muestras de patrones de plomo y cadmio para los procesos experimentales. Se desarrolló con equipos, materiales y reactivos.

Tabla 3

*Método de ensayo de experimentos de volúmenes y tiempos*

Temperatura ambiente de 14 a 22°C	
Muestras	Tiempo (min.)
1.- 50 ml.	5
2.- 50 ml.	15
3.- 50 ml.	30
4.- 50 ml.	60
5.- 50 ml.	120

### 3.4. Método de investigación

La investigación fue experimental, se utilizó la técnica de investigación científica. El cual, mediante una táctica implacable de orden metódico, nos permitió demostrar la importancia de la exactitud de la hipótesis. La materia prima que se manejó en la presente investigación está instituida por el carbón activado del hueso de alpaca para su adsorción de estos metales pesados como son plomo y cadmio en las aguas residuales de la Laguna de Espinar de la ciudad de Puno.

Los datos se tomarán en g/L, para que sea más significativo en la precisión de los datos y resultados.

### **3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

Para alcanzar el OE1: Análisis de propiedades físicas y químicas del carbón activado de hueso de alpaca para la adsorción de plomo y cadmio.

La metodología que se utilizó para las caracterizaciones de las propiedades físico químicas del carbón activado del hueso de alpaca se realizó en diferentes fases: de campo, pre analítica y post analítica.

Materiales y equipos. Crisoles, mortero, pinza embudos, fiolas, mufla, tubos y vasos precipitados, balanza analítica

#### **1. Reactivos. Ácido fosfórico, agua destilada**

##### **a. Fase del campo**

La obtención del hueso de alpaca fue recogida a partir de desechos provenientes de los mercados; dominical de la ciudad de Juliaca, central y unión dignidad de la ciudad de Puno de la región de Puno. recolectando de esta forma 25 kilogramos de muestra la parte del fémur.

##### **b. Fase pre analítica - Preparación de la muestra**

Esta muestra fue recolectada descarnizada, lavado, secado sobre un papel en la parte inferior el secado fue bajo sombra a temperatura ambiente de 12 a 20 °C durante una semana, todos los días los huesos de alpaca eran volteados, para que este proceso de secado sea uniforme. Transcurrido el tiempo se obtuvieron estas muestras con una humedad del 23% aproximadamente.

Molienda. La materia prima de huesos de alpaca primeramente se seleccionó para luego ser triturado con la finalidad de obtener muestras con un solo tamaño específico de partícula de hueso. Esto se realizó debido a que el objetivo es obtener carbón activado del hueso de alpaca granulométrico se realizó con un tiempo de 3 horas, en un molino de bolas marca ZENITH la cual este equipo está ubicado en la Facultad de Ingeniería Metalurgia de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno,

Tamizado. Las muestras del hueso de alpaca obtenidas son pasadas por el tamiz con 5 diferentes tipos de mallas como son: las mallas de 8, 10, 40 y 60 esto con la finalidad de obtener una clasificación por tamaño específica de la materia prima, en el presente trabajo de investigación. Se utilizó solo las muestras del hueso de alpaca de la malla 10 la cual esta malla su diámetro es de 0.0767 micras.

Tratamiento con ácido fosfórico. La muestra de hueso de alpaca primeramente fue pesada aproximadamente 0,5g así sucesivamente varias muestras las cuales estas son debidamente colocados en un vaso precipitado, las cuales fueron impregnadas con ácido fosfórico con una cantidad de 300 ml, con distintas concentraciones como son de (98% y 50%). Los huesos de alpaca para que tenga una uniformidad son mezclados o agitados con una varilla de vidrio por un lapso de tiempo de 48 horas, luego se lava aumentando poco a poco agua destilada hasta lograr que la mezcla quede húmeda, finalmente fue almacenado.

Secado. De las muestras del hueso de alpaca una vez cumplidas con el tiempo pasan a ser secadas en una mufla eléctrica a una temperatura de 200°C, por un lapso de 20 minutos.

Carbonización y activación de la muestra del hueso de alpaca una vez cumplido el tiempo de los 20 min. de secado se lleva a una temperatura de la mufla (horno eléctrico), la cual es elevada a 800°C. durante un tiempo de 30 minutos después lapso se saca las muestras y dejamos enfriar las muestras durante 6 horas.

Lavado. Se realizó este proceso con la finalidad de eliminar el exceso de iones existente, primero se lavó con una solución de ácido clorhídrico 0.1 Normal y finalmente se enjuagó con agua destilada varias veces para así regular el pH del carbón obtenido del hueso de alpaca. Dicha operación se realizó colocando los carbones activados del hueso de alpaca en un papel filtro con un embudo de filtración este proceso se realizó varias veces.

### **c. Fase analítica**

Determinación de las propiedades físicas del carbón de hueso de alpaca.

La materia prima del hueso de alpaca se pesó 0.5 g. para determinar la porosidad, pasando luego a la humedad y el tamaño del carbón de hueso de alpaca. Para obtener

la porosidad se activó con ácido fosfórico al 98% de concentración con un tiempo de 48 horas para obtener un pH. óptimo esta muestra se lavó varias veces con agua destilada.

La humedad de la muestra del hueso de alpaca se determinó por el peso antes y después de hacer las pruebas. El tamaño de la muestra se determina en las series de Taylor. Haciendo las pruebas respectivas para la adsorción de estas.

## **2. Determinación de las propiedades químicas del carbón de hueso de alpaca**

La materia prima se pesó 5.0 g. para determinar las propiedades químicas las cuales se determinaron los siguientes como son: grasa, cenizas y proteínas todas estas se realizaron en la Facultad de Ciencias Agrarias en el laboratorio de suelos.

Para alcanzar el OE2: Determinación del equilibrio iónico de adsorción del carbón activado del hueso de alpaca.

En la investigación se ha utilizado la técnica de titulación continua que consiste, en añadir sucesivamente pequeñas cantidades de titulantes a una disolución de la muestra en estudios, registrándose los valores de pH en función del volumen de titulante añadido.

Materiales y equipos. balanza analítica, frascos transparentes para contener 50mL de solución, pipetas, buretas erlenmeyer, vasos precipitados y material de vidrio complementario para la valoración.

Reactivos. Nitrato de plomo de una concentración de  $8.6 \times 10^{-3} \text{ mol/ dm}^{-3}$ , nitrato de cadmio con una concentración  $7.68 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^{-3}$  indicador de erio cromo negro – T en polvo, ácido tartárico, solución de EDTA 0.0095 M y Buffer PH 10, agua destilada,

### **a. Fase pre analítica - Preparación de muestras**

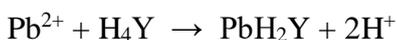
Se pesó aproximadamente 5.0 g de carbón activado de hueso de alpaca en 10 erlenmeyer de 50 ml de capacidad, para cada muestra: se coloca en los recipientes etiquetados con las denominaciones 1, 2, 3, 4 hasta 10. La cual se le añadió 20 ml de solución de plomo con una concentración de que varía de  $8.6 \times 10^{-4}$  a  $8.6 \times 10^{-3} \text{ mol/ dm}^{-3}$  y también se prepararon para la solución de cadmio con una concentración que varía de  $7.68 \times 10^{-4}$  a  $7.68 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^{-3}$  las cuales estas se agitan y se ponen en un reposo por un tiempo de 5 minutos con un controlador de temperatura.,

transcurrido ese tiempo se toma un volumen de una alícuota de la solución resultante para su respectiva evaluación, controlándose por valoración complejo métrica los iones plomo y cadmio adsorbidos, las valoraciones con EDTA, esto se realizó en los iones de plomo y cadmio hasta virar de color rojo a color azul en este caso se realizó en ambas muestras.



$M^{2+}$  = metal pesado.

$H_4Y$  = la solución EDTA



Así sucesivamente para todos los casos.

## b. Fase analítica

Para el análisis de plomo y cadmio de la laguna del espinar Puno. Se tomó 25 ml de muestra de agua residual en este caso se realizó para ambos casos, en un matraz de 250 ml. En un Erlenmeyer se adiciono una pizca de ácido tartárico con un 5 ml de solución buffer de pH. 10, la cual diluimos hasta llegar a 50 ml, con agua destilada finalmente se le adiciono un indicador erío cromo T, la cual esta se tituló con EDTA lo cual se obtuvo un color a violeta que viro a azul blanco para el plomo, se realizó el mismo procedimiento para el cadmio la cual este proceso viro verde azul a violeta rojo.

Solución patrón de metales pesados. Para la determinación las isotermas de adsorción para los cationes de los metales pesados como plomo cadmio, estas muestras se presentan todos como nitrato, las cuales estas se prepararon soluciones estándares de estos metales con agua destilada con una concentración que varía de  $7 \times 10^3 \text{ mol/dm}^{-3}$  en un promedio de los cuales estas fueron utilizadas en las pruebas de adsorción determinándose así de las curvas de equilibrio de adsorción y la cinética de la misma.

### c. Fase post analítica

Pruebas para evaluación de la capacidad de adsorción del hueso de alpaca. La capacidad de adsorción se evaluó con el carbón de hueso de alpaca previamente activado con ácido fosfórico, lavado y secado, los mismos que se han preparado, utilizando la técnica para la evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado del hueso de alpaca.

Determinación de la adsorción de plomo. La evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado del hueso de alpaca hacia los cationes de plomo, se evaluaron analizando la concentración del plomo antes y después del equilibrio mediante titulación complexometría con EDTA.

La velocidad de adsorción de los metales pesado como plomo y cadmio sobre el bioadsorbente, fue analizada usando los modelos cinéticos pseudos primer orden (Lagergren, 1998).

### 3. Modelo de pseudo primer orden.

Su expresión es la siguiente:

$$\frac{dy}{dt} = k_1(Y_{\max} - y) \quad (a)$$

Dónde:

Y = Capacidad de adsorción en tiempo t, mg/g

$Y_{\max}$  = Capacidad de adsorción máxima o de equilibrio, mg/g

$K_1$  = Constante de adsorción de pseudo primer orden, L/min.

Después de la integración y aplicando condiciones de contorno  $t = 0$  a  $t = t$  y  $Y = 0$  a  $Y = Y$ , la forma integrada de la ecuación (a) es:

$$\text{Log}(Y_{\max} - y) = \text{Log}Y_{\max} - \frac{K_1}{2.303}t \quad (b)$$

### 3.5.1. Modelo de la ecuación de Elovich

La ecuación del modelo de Elovich es generalmente expresada como (Volesky *et al.*, Prasetyo, 1990)

$$\frac{dy}{dt} = \alpha \exp(-\beta Y)$$

(c)

Dónde:

$\alpha$  = Constantes de Elovich, mg/g,min.

$\beta$  = Constantes de desorción algún experimento, g/mg.

Para simplificar la ecuación de Elovich, Chien y Clayton (1980), asumieron que  $\alpha \beta \gg t$  y

Por la aplicación de las condiciones de  $Y = 0$  a  $t = 0$  y  $Y = Y$  a  $t=t$ , la forma integrada de la ecuación (e) es :

$$Y = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$$

### 3.5.2. Cálculo de análisis y determinación de plomo y cadmio en la laguna de espinar Puno

Para la determinación de la concentración de plomo y cadmio se utilizó las siguientes formulas:

$$[Pb^{++}](g / L) = \frac{V_{EDTA} * M_{EDTA} * P.M.(Pb)}{V_{Muestra}} \dots\dots\dots (1)$$

$$[Cd^{++}](g / L) = \frac{V_{EDTA} * M_{EDTA} * P.M.(Cd)}{V_{Muestra}} \dots\dots\dots (2)$$

Para determinar la velocidad de adsorción

$$Y_A = \frac{Adsorcion}{tiempo} \dots\dots\dots (3)$$

### 3.5.3. Del ensayo

Se realizaron pruebas de ensayo donde se tomaron diferentes muestras de patrones de iones como de plomo y cadmio para los diferentes procesos experimentales, las

cuales estas se prepararon en los equipos, materiales y reactivos de acuerdo al diseño establecido realizándose las siguientes actividades.

- ✓ Se tomaron las diferentes muestras de las aguas residuales de la laguna de Espinar – Puno, con una alícuota de 50 ml de agua, la cual donde se adiciono a cada uno de ellas 5 gramos de carbón activado de hueso de alpaca las cuales estas se agitaron con agitador magnético durante diferentes tiempos estipulados las cuales estas se valoraron con etil diamina tetra acético (EDTA) de una concentración conocida de ahí se tomó datos, durante el proceso de experimentación, se evaluó las variables dependientes del proceso así se determinó el equilibrio iónico de la velocidad de adsorción del carbón activado del hueso de alpaca.

Tabla 4

*Matriz de experimentos de volúmenes y tiempos*

Temperatura ambiente de 14 a 22°C	
Muestras	Tiempo (min.)
1.- 50 ml.	5
2.- 50 ml.	15
3.- 50 ml.	30
4.- 50 ml.	60
5.- 50 ml.	120

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que a continuación se muestran, son obtenidos de procedimientos y cálculos utilizando la materia prima del carbón activado del hueso de alpaca como adsorbente en aguas residuales de la laguna de Espinar de la ciudad de Puno, región de Puno.

### 4.1. Propiedades físicas y químicas del carbón activado del hueso de alpaca

Tabla 5

*Características físicas y químicas del carbón activado del hueso de alpaca*

<b>Densidad Aparente</b>	<b>1.08 cm<sup>3</sup></b>
Humedad	11.14 %
Color	Negro
Sistema	Poroso
Grasa	2.78 %
Ceniza	8.42 %
Proteína	7.91 %

En la tabla 5 se aprecian los resultados como son las características físicas y químicas del carbón activado de hueso de alpaca las cuales se determinaron las siguientes como son: densidad 1.08 cm<sup>3</sup>, humedad 11.14%, se observa también el color, la cual es negro, se observa que tiene un sistema poroso, se determinó grasa la cual es de 2.78%, ceniza 8.42 % y una proteína de 7.91 %, sin embargo los autores (lindon *et al.*, 2011) determinaron las caracterizaciones fisicoquímica como la humedad 0.75 %, grasa 0.10 %, ceniza 0.11%. y proteína de 0.77 %. La diferencia es debido a que las propiedades

físicoquímicas son de hueso de llama. Estos valores representan sobre todo la porosidad ya que esta sirve para absorber los metales pesados en aguas residuales (Keser *et al.*, 2012). Algunos autores también indican que el carbón activado posee una mayor porosidad y una gran área superficial la cual esto convierte en un material ideal para los procesos de adsorción de metales pesados además este compuesto es capaz de inmovilizar los compuestos orgánicos, que suelen estar presentes en las aguas residuales (Tejada *et al.*, 2012). También determinaron un carbón activado con gran porosidad utilizando el mismo ácido la cual es el ácido fosfórico con variaciones de temperatura con un menor tiempo que es de 24 horas la cual recomienda que se puede utilizar con diferentes técnicas, mas no recomienda el uso del pH. (Daniela *et al.*, 2018).

#### 4.2. Determinación del equilibrio iónico de adsorción del carbón activado del hueso de alpaca.

Los resultados determinados de los metales presentes como son de plomo y cadmio en la laguna de Espinar del lago Titicaca – Puno, la cual se logró obtener como resultado los siguientes datos. Donde podemos observar en la tabla 6 lo siguiente:

Tabla 6

*Determinación de la concentración de plomo y cadmio en la laguna del Espinar – Puno.*

Concentración	V <sub>EDTA</sub> (mL)	V <sub>EDTA</sub> (mL) con carbón activado	M <sub>EDTA</sub> (mol/L)	P.M (g/mol)	V Muestra (mL)	pH
Plomo	9.99	1.6	0.0095	207.19	25	6.8
Cadmio	10.0	1.3	0.0095	112.41	25	6.8

En la tabla 6 se demuestra los datos determinados en relación a los metales pesados como son: plomo 9.99 ml y cadmio de 10.0 ml de la laguna del Espinar del lago Titicaca de la ciudad de Puno lo cual se obtuvieron volúmenes de gasto con EDTA; seguidamente a estas muestras se les adiciono 5g. de carbón activado de hueso de alpaca a cada resultado con el agitador magnético se realizó la mezcla homogénea a un cierto tiempo determinado, lográndose así los volúmenes de gasto obteniéndose así los siguientes resultados como son: 1.6 ml para la muestra con plomo y carbón activado y 1.3 ml para la muestra de cadmio con carbón activado obteniéndose así los volúmenes de gastos con

EDTA, para las en ambos casos de estas muestras se trabajó con una solución de 0.0095 M de EDTA, con sus respectivos pesos moleculares tales como son: plomo 207.9 g/mol y 112.41 g/mol de cadmio con un volumen de muestra de 25 ml de aguas residuales de la laguna de espinar del lago Titicaca – Puno trabajandose con un pH de 6.8.

Tabla 7

*Resultado de análisis de Pb y Cd en aguas residuales de laguna del Espinar – Puno antes y después del tratamiento con carbón activado.*

Muestra	T °C	PH	Plomo g/L	Cadmio g/L
Agua residual	14	6.8	0.79	0.43
Con carbón activado.	14	6.8	0.13	0.056

En la tabla 7 se demuestra los datos determinados en aguas residuales de la laguna de Espinar – Puno antes y después del tratamiento con carbón activado a una temperatura de 14 °C y a un pH de 6.8 en relación a los metales pesados como son: plomo es de 0.79 g/L y cadmio de 0.43 g/L. la cantidad absorbida con carbón activado de hueso de alpaca son: plomo 0.13 g/L y cadmio de 0.056 g/L. Cabe considerarse por otra parte el autor Albarracin (2014) determino el análisis precedente del rio Ramis 0.162 mg/l de plomo y cadmio 0.412 mg/l . (Vera *et al.*, 2016) también utiliza carbón activado a partir del bagazo de caña de azúcar como biosorbente para para eliminar estos iones como son plomo y cadmio la cual utilizan estas muestras de concentraciones a un volumen 120 ml de cada muestra. Y por otro lado los autores también indican que la contaminación por estos iones metálicos como son el Pb, Cd, Hg y As son los más altos y riesgos para la salud, esto no solo afecta a los recursos hídricos, la cual es un peligro en la seguridad alimenticia a nivel mundial (Reyes *et al.*, 2016), se observó que el autor (Moreno *et al.*, 2017) determina diferentes tipos de metales totales aproximados tales como plomo (0.011 ppm) y cadmio (0.017 ppm), visto de esta forma cada autor determina que existe la contaminación de estos metales pesados en nuestro lago Titicaca lo cual esto significa un problema de salud pública y la contaminación de nuestro lago Titicaca por estos metales pesados.

Tabla 8

*Volúmenes de gastos con EDTA antes y después del tratamiento con carbón activado de plomo y cadmio en aguas residuales de la laguna de Espinar - Puno*

Concentración	V <sub>EDTA</sub> (mL)	V <sub>EDTA</sub> (mL) Con carbón activado	V Muestra (mL)	pH	$\gamma_A = \frac{\text{Adsorcion}}{\text{tiempo}}$
Plomo	24.7	1.8	50	5.2	0.036 g/L.g.min
Cadmio	33.5	3.1	50	5.2	0.025 g/L.g.min

En la tabla 8 se expresa los datos patrones con soluciones estándares para los cationes antes y después del tratamiento como son: plomo 24.7 ml y cadmio 33.5 ml las cuales tuvieron volúmenes de gasto con EDTA. Seguidamente se coloca a cada una de las muestras carbón activado de hueso de alpaca las cuales obtuvimos los resultados como son: plomo de 1.8 ml y cadmio de 3.1 ml. Estas también se valoran con EDTA las cuales también se obtienen los volúmenes de gasto con EDTA ya antes mencionado, estas pruebas se hicieron con la muestra de 50 ml de aguas residuales de la laguna de Espinar del lago Titicaca a un pH de 5.2 para determinar estas pruebas de adsorción las cuales se obtuvieron los siguientes resultados como son; plomo 0.036 g/L.g.min y cadmio 0.025 g/L.g.min.

Calcina (2007) concluye la muestra por los elementos Ramis e Illpa para Orestias Sp presentan, niveles de concentración de iones metálicos pesados las cuales estas excede el límite permisible para consumo humano en los elementos Cu, Pb, Zn y Hg. Además, Luque *et al.* (2012) concluye que el kikuyo es efectivo para la eliminar de Pb (II) del agua contaminada simulada y excede el rendimiento de adsorción de otros biosorbentes de referencia, Además (Albarracin, 2014) determino que existen los metales pesados como plomo 0,162 mg/l y cadmio 0,412 mg/l (CORPLAB- Arequipa). También finalmente, (Daniela *et al.*, 2018) llegan a la conclusión que el uso del carbón activado sirve en el tratamiento de aguas para obtener el carbón activado, para el tratamiento de aguas residuales con mayor frecuencia de cargas.

#### 4.2.1. Plomo

La determinación de la concentración de plomo en la laguna del espinar se obtiene los resultados siguientes reemplazando las ecuaciones (1), (2) y (3).

Tabla 9

*Velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos (pH=5.2).*

Experimento	Tiempo (min.)	Volumen de gasto de EDTA (mL)	Adsorción en (g/L.g)	Velocidad de adsorción ( $r_A$ ) (g/L.g.min.)
1	5	1.8	0.1803	0.036
2	15	1.6	0.0685	0.0045
3	30	1.3	0.1842	0.00614
4	60	0.9	0.1874	0.003123
5	120	0.7	0.1889	0.00157

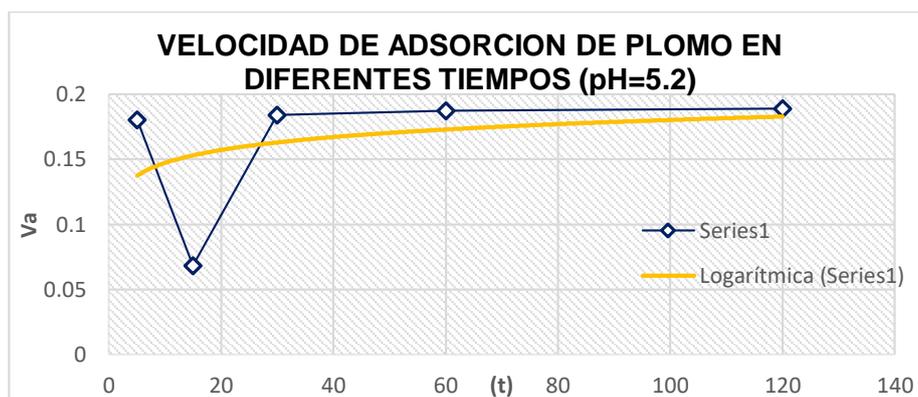


Figura 5. Velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos pH 5.2.

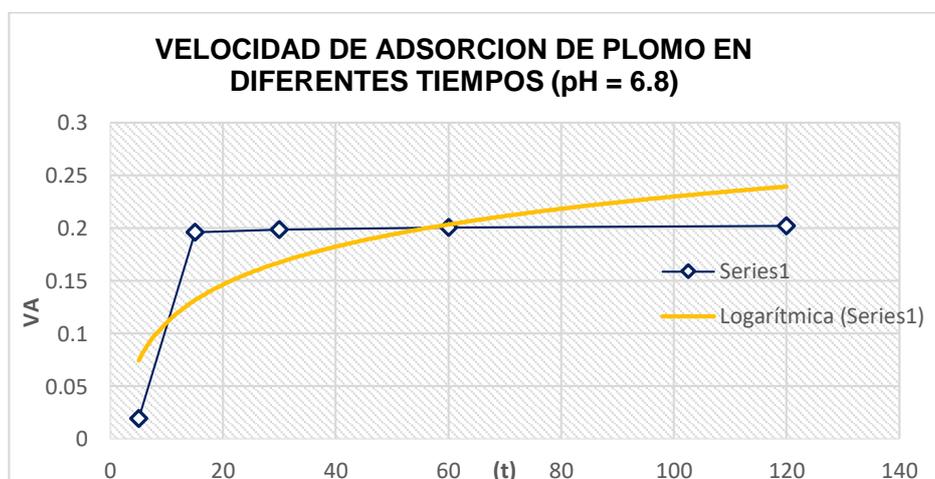
En la figura 1 se observa la velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos de (pH = 5.2) donde nos muestra que la curva de datos experimentales no se ajusta a la velocidad de adsorción de plomo con respecto al tiempo es mayor cuando la adsorción igual a pH 5.2. (Campos, 2008) concluyo el tratamiento de sorción muestra que la sorción del Cr (VI) sigue un mecanismo propuesto por Langmuir formando una monocapa en el adsorbente Así mismo (Garcés *et al.*, 2012) determinaron que la adsorción representa una solución alternativa para el

tratamiento de aguas residuales, sin embargo, la eficiencia de este proceso depende en gran medida del tratamiento que se aplica a los biosorbentes seleccionada, además. (Tejada *et al.*, 2015) explican que el efecto del pH es importante para el parámetro que controla en los procesos de adsorción de metales pesados los pH. Deben ser superiores a 4,5. Finalmente (Tejada *et al.*, 2016) llegaron a la conclusión que el aprovechamiento de la cáscaras de yuca ñame para el tratamiento de aguas residuales la cual evaluaron para la adsorción de Pb(II). Teniendo en cuenta el pH de 6 la cual realizo un diferente tratamiento para esta investigación utilizando el ácido cítrico.

Tabla 10

*Velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos (pH = 6.8).*

Experimento	Tiempo (min.)	Volumen de gasto de EDTA (mL)	Adsorción en (g/L.g)	Velocidad de adsorción ( $r_A$ ) (g/L.g.min)
1	5	1.9	0.019446	0.0038892
2	15	1.7	0.196046	0.013069
3	30	1.4	0.1984	0.006613
4	60	1.1	0.20076	0.003346
5	120	0.95	0.20194	0.0016828



*Figura 6. Velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos (pH=6.8)*

En la figura 6 la velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos de (pH=6.8) se observa la curva de datos experimentales se ajusta a la velocidad de adsorción del plomo

con respecto al tiempo es mayor cuando la adsorción igual a pH 6.8. Afirman (PELT, 2007) los duales indican que existe una evidencia de la contaminación en la cuenca del río Ramis por relaves mineros, reporta en el río Poma huasi (puente) 0,418 mg de Pb/l lo que indica que dicho río hay contaminación por plomo superando los límites permisibles. Además (Garcés *et al.*, 2012) concluyen que la cáscara de naranja tiene un gran potencial para la eliminación de Cr (VI) en agua sintética, mientras que la cáscara de naranja modificada con quitosano, en su estructura molecular puede considerarse como una buena alternativa al tratamiento de aguas residuales con contenido de cromo. Además, Farfán *et al.* (2015). El siguiente autor explican que el efecto del pH es importante para el parámetro que controla en los procesos de adsorción de metales pesados los Ph. deben ser superiores a 4,5 de pH. (Tejada *et al.*, 2015).

Vera *et al.* (2016) Finalmente obtuvieron resultados de eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras a partir del bagazo de caña de azúcar como biosorbente para eliminar estos metales tales como plomo y cadmio de las aguas residuales de las centros mineros. Trabajando para estos iones de plomo con un pH 5, esto con un tiempo de 10 minutos, estos autores estudiaron la influencia del pH, la concentración y el tiempo de contacto.

#### 4.2.2. Cadmio

La determinación de la concentración de cadmio en la laguna del espinar se obtiene los resultados reemplazando en las ecuaciones (c) y (d).

Tabla 11

*Velocidad de adsorción de cadmio en diferentes tiempos (pH=5.2).*

Experimento	Tiempo (min.)	Volumen de gasto de EDTA (mL)	Adsorción en (g/L.g)	Velocidad de adsorción ( $r_A$ ) (g/L.g.min)
1	5	3.1	0.1299	0.025
2	15	2.9	0.1307	0.00871
3	30	2.5	0.1324	0.004414
4	60	1.8	0.1354	0.002257
5	120	1.3	0.1375	0.001145

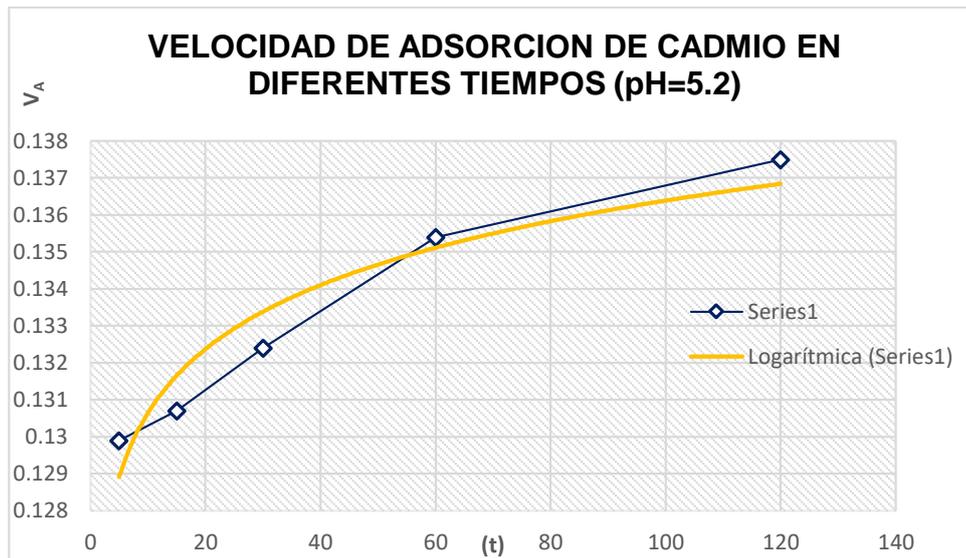


Figura 7. velocidad de adsorción de cadmio en diferentes tiempos pH 5.2.

En la figura 7 nos da la velocidad de adsorción de cadmio en diferentes tiempos pH 5.2 se muestra en el gráfico que la curva de datos experimentales se ajusta aproximadamente a la velocidad de adsorción del cadmio con respecto al tiempo es mayor cuando la adsorción igual a pH 5.2 (Tejada *et al.*, 2015) explican que el efecto del pH es importante para el parámetro que controla en los procesos de adsorción de metales pesados los pH. deben ser superiores a 4,5 de pH. Las aguas residuales se generan a un nivel muy alto a nivel mundial, de la cual se estima que entre el 90 y el 95 % de agua residuales esto se debe a la generación de las descargas de las poblaciones y de los centros mineros artesanales lo cual no recibe tratamiento adecuado (Sánchez *et al.*, 2016) esto afectan a la calidad de los depósitos de superficie de la presencia de estos contaminantes como: sustancias orgánicas solubles y suspendidas, amonio, nitrógeno, fosfatos, sulfatos que provienen de la descomposición de materia orgánica o compuestos químicos; estos nutrientes, cuando están en altas concentraciones, activan la eutroficación de los cuerpos. Cervantes *et al.* (2011). A la vez determinaron resultados usando bagazo como biosorbente para la remoción de metales pesados de aguas residuales mineras eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras para remover metales pesados las cuales estos autores realizaron un estudio profundo con diferentes tiempos la cual fue óptimo para ellos con un tiempo de 10 minutos con iones de metales pesados a un pH 6, la cual varían sus concentraciones y el tiempo de exposición, las cuales estos investigadores realizaron a profundidad la influencia del pH, la concentración y el tiempo de contacto (Vera *et al.*, 2016)

Tabla 12

Velocidad de adsorción de cadmio en diferentes tiempos (pH=6.8).

Experimento	Tiempo (min.)	Volumen de gasto de EDTA (mL)	Adsorción en (g/L.g)	Velocidad de adsorción ( $r_A$ ) (g/L.g.min)
1	5	3.5	0.00172	0.000344
2	15	3.1	0.13798	0.0091986
3	30	2.8	0.13926	0.004642
4	60	2.2	0.141824	0.002363
5	120	1.9	0.1431	0.0011925

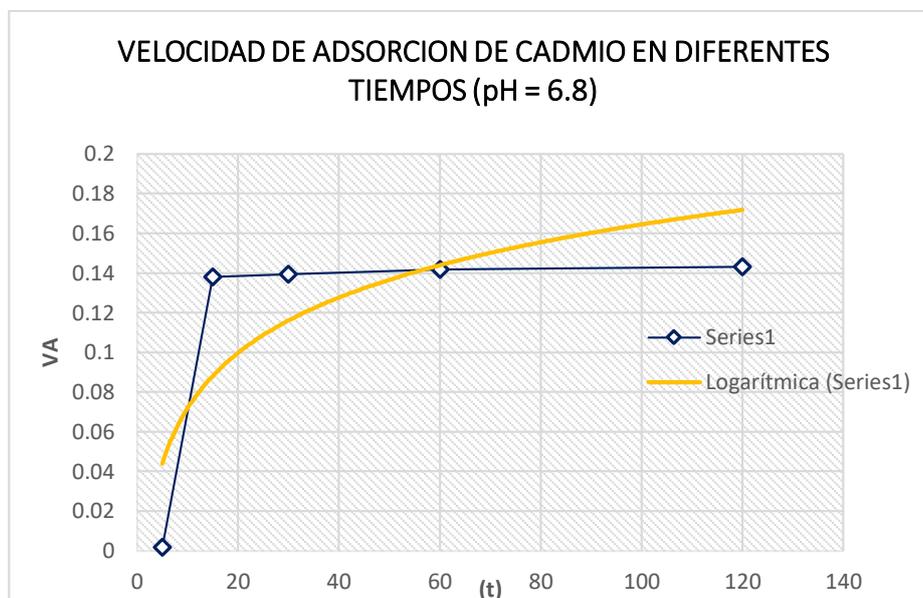


Figura 8. Velocidad de adsorción de cadmio a diferentes tiempos.

En la figura 8 se aprecia la velocidad de adsorción de cadmio a diferentes tiempos cuyo grafico nos muestra la curva de datos experimentales no se ajusta a la velocidad de adsorción de cadmio con respecto al tiempo es mayor cuando la adsorción igual a pH 6.8. (Tejada *et al.*, 2015) explican que el efecto del pH es importante para el parámetro que controla en los procesos de adsorción de metales pesados los pH. deben ser superiores a 4,5 de pH (Farfán *et al.*, 2015) además indican que el control apropiado del proceso de carbonización y activación puede obtener varios carbono activado con diferentes distribuciones de acuerdo con el

tamaño de poros (Bonilla *et al.*, 2016). Al mismo tiempo determinan los resultados usando bagazo como biosorbente para la remoción de metales pesados de aguas residuales minera para remover metales pesados como el cadmio de las aguas residuales del centro minero, las cuales estos autores realizaron un estudio de 10 minutos con iones de cadmio a un pH 6 investigando los efectos de las concentraciones, tiempo de exposición y el pH (Vera *et al.*, 2016).

#### **4.3. Ajuste de datos a diferentes modelos cinéticos para el diseño experimental**

Las pruebas experimentales explicadas, permiten determinar la velocidad de los metales pesados de plomo y cadmio, establecer los parámetros de tiempo de adsorción y concentración.

Estos influyen en las variables de las respuestas, el propósito de estas es identificar los entornos de operación de la velocidad de adsorción para así poder encontrar una ventaja en la adsorción.

Se tendrá un diseño factorial  $5 * 2$  el cual tiene 10 experimentos o corridas de tratamiento experimental.

Este diseño permite la estimación de dos efectos principales

( $X_1$ ,  $X_2$ ), una interacción entre dos factores ( $X_1X_2$ )

Resumen del análisis

Clase de diseño: Factorial Multi Nivel

Base de diseño

- Número de factores experimentales: 2
- Número de bloques: 1
- Número de desechos: 1
- Número de ejecuciones: 10
- Grados de libertad: 5
- Aleatorización: no

$$Y = a + bx$$

El valor de  $r^2$ , varia de  $0 \leq r^2 \leq 1$ .

#### 4.3.1. Ajuste de datos a diferentes modelos cinéticos tratamiento de datos para el plomo a pH 6.8.

Tabla 13

*Velocidad de adsorción de plomo a pH 6.8.*

Nº	t(min.)	Y
1	5	0.019446
2	15	0.196046
3	30	0.1984
4	60	0.20076
5	120	0.20194

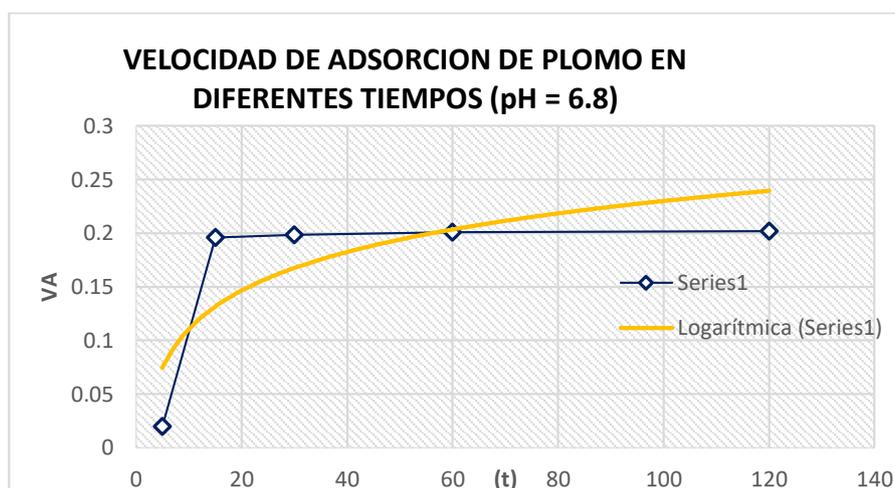


Figura 9. Velocidad de adsorción del Pb con respecto al tiempo

En figura 9 se aprecia la velocidad de adsorción de plomo en diferentes tiempos cuyo gráfico nos muestra que la curva de datos experimentales se ajusta aproximadamente a una curva la velocidad de adsorción del plomo con respecto al tiempo es mayor cuando la adsorción del Pb es menor a un pH 6.8. Explican que el efecto del pH es importante para los parámetros controlados por el proceso de adsorción de metales pesados los pH. Deben ser superiores a 4,5 de pH. Además de contaminar el agua y los suelos con metales

pesados estas no sirven para el sector de agricultura (Tejada *et al.*,2015). Reportan otros autores que el ensayo de adsorción realizan en un equipo formado por cuatro lechos paralelos la cual controla la alimentación de una solución de un ion metálico las cuales controlan los caudales trabajando con un pH 6 de una solución acuosa por ende mantienen constante una temperatura y presión determinado así hasta que expiro el tiempo de saturación de las muestras recolectadas las cuales estas fueran analizadas con absorción Lara *et al.* (2016) reportan que la calidad de agua en riegos muestra que hay diferentes metales pesados como el plomo las cuales aumentan con el agua ennegrecida o aguas residuales y residuos municipales se considera un riesgo para la salud de las personas como en animales, el tratamiento puede ser la solución a muchos problemas ya que necesitan desarrollar tecnología para las aplicaciones y economía, las cuales todos debemos aplicar métodos de alternativa natural lo cual el grado de tratamiento puede ser integrado a un diseño flexible (Panikkar *et al.*, 2010). También reporta la contaminación por metales pesados de plomo en agua, sedimento y en mejillón en los puentes perimetral 5 de junio en la cual encontró solo en agua una velocidad el Pb  $0,283\pm 0,015$  ppm del Pb en agua respectivamente. La cual el Pb obtuvieron resultados con una mayor concentración de 47,75-135,29 ppm, ya que superando las máximas permitidas. En los mejillones hicieron las pruebas la cual no tuvieron resultados favorables y esto no se acumulan las concentraciones de Pb en agua (Castro, 2017).

#### 4.3.2. Ajuste de datos cinéticos al modelo de pseudo primer orden

Tabla 14

*Modelo de pseudo primer orden para el Pb*

Tiempo	Y(ppm/g)	Ymax-Y	Log(Ymax-Y)
5	0.019446	0.182494	-0.73875141
15	0.196046	0.005894	-2.22958987
30	0.1984	0.00354	-2.45099674
60	0.20076	0.00118	-2.92811799
120	0.20194	0	

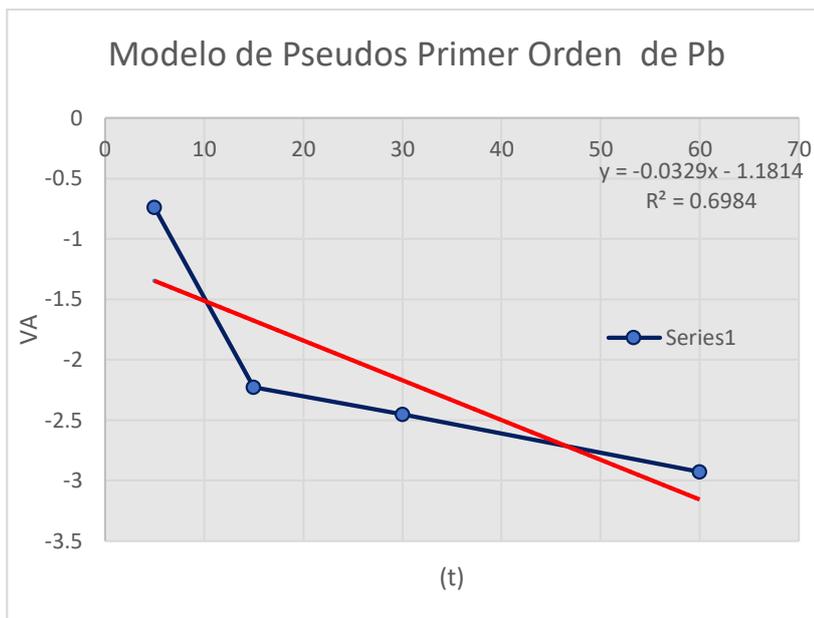


Figura 10. Modelo de pseudo primer orden

En la figura 10 se aprecia el modelo de pseudo primer orden cuyo gráfico nos muestra la curva de datos experimentales se ajusta a una recta de acuerdo a la ecuación  $\log(Y_{\max}-Y) = -0.0329t-1.1814$  con un coeficiente de determinación de 0.6984. este modelo de pseudo primer orden de Pb nos muestra un coeficiente muy bajo donde no se ajusta al modelo cinético, para lo cual debemos modificar el modelo de pseudo primer orden para obtener un mayor coeficiente (Tovar *et al.*, 2016) explican la adaptación estadística de los Pseudo modelos de primer orden para la adsorción de plomo de la cascara de naranja para el mejor proceso de adsorción, para el propósito del pH es importante para el parámetro que controla en los procesos de adsorción de metales pesados los pH. deben ser superiores a 4,5 de pH (Farfán *et al.*, 2015).

Tabla 15

Ajuste de datos cinéticos al modelo de elovich para el Pb.

t(min.)	Y	ln(t)
5	0.019446	1.609
15	0.196046	2.708
30	0.1984	3.401
60	0.20076	4.094
120	0.20194	4.787

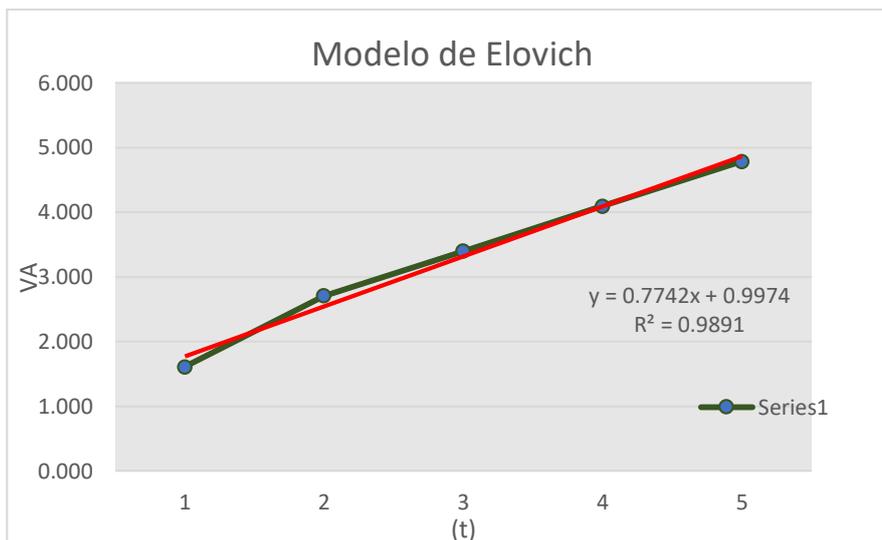


Figura 11. Ajuste de datos al modelo de elovich.

En la figura 11 se aprecia el ajuste de datos al modelo elovich cuyo grafico nos muestra la curva de datos experimentales se ajusta aproximadamente a una recta de acuerdo a la ecuación  $y = 0.7742 \ln(t) + 0.9974$  con un coeficiente de determinación de 0.9891 con este modelo tenemos una mejor correlación  $R^2$  que el modelo de pseudo primer orden, por lo que el modelo cinético de Elovich es el adecuado. la cual se efectúa naturalmente sin afectar ni contaminar a nuestro medio ambiente. El carbón de hueso se prepara a partir de los restos de huesos de animales que se calcinan a una temperatura y tiempo (Cristina *et al.*, 2006)

Se pueden poner en el cuerpo humano a través de los alimentos, el agua, el aire, o la adsorción a través de la piel cuando entran en contacto con los humanos en la agricultura y en el proceso de fabricación, productos farmacéuticos e industria. Las exposiciones industriales se consideran rutas de recolecciones generales para los adultos, la ruta más común en el menor de edad es el consumo (Cruz *et al.*, 2012) Indican estos autores para el ajuste con modelo Elovich con un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0.99$  y  $0.94$  al modelo de plomo la cual este modelo predice el comportamiento de todo el proceso de biosorción y un  $R^2 = 1$  y Elovich  $0.94$  en el ámbito del estudio utilizaron en la adsorción química como etapa de control (Vera *et al.*, 2016).

### 4.3.3. Ajuste de datos a diferentes modelos cinéticos tratamiento de datos para el cadmio a pH 5.2.

Tabla 16

Velocidad de adsorción para cadmio a un pH 5.2

N	t(min.)	Y
1	5	0.1299
2	15	0.1307
3	30	0.1324
4	60	0.1354
5	120	0.1375

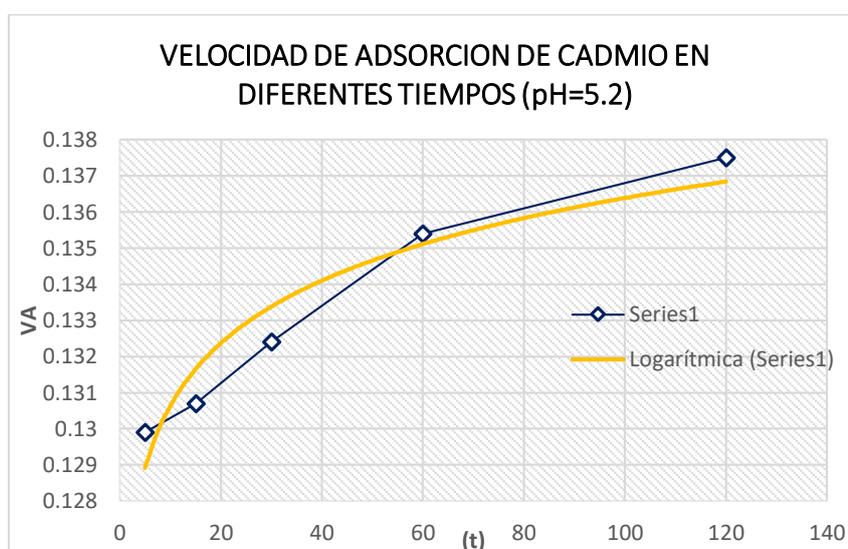


Figura 12. Velocidad de adsorción para el cadmio a un pH 5.2.

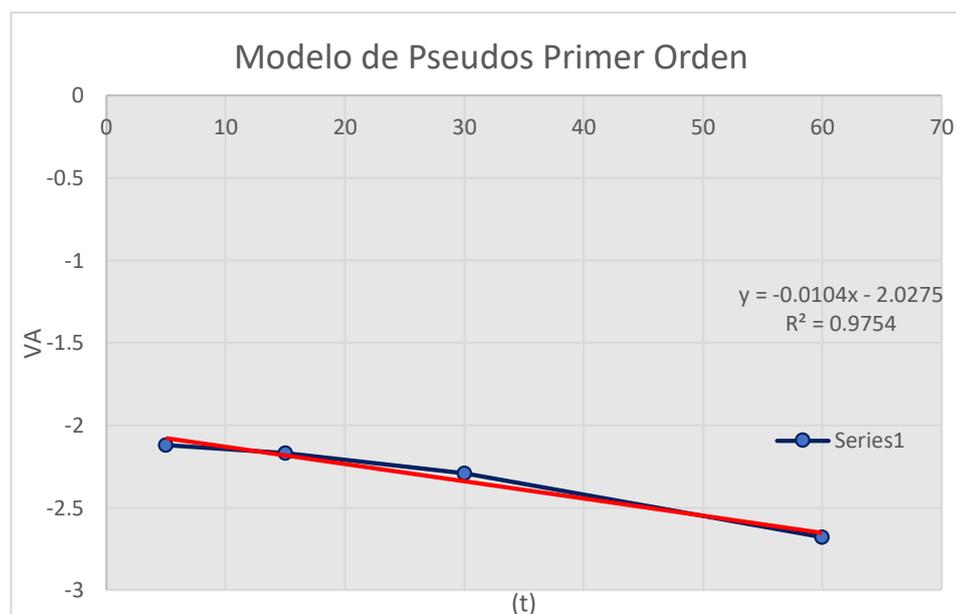
En la figura 12 se aprecia la velocidad de adsorción para que el cambio a un pH 5.2 cuyo gráfico nos muestra la curva de datos experimentales se ajusta aproximadamente a la trayectoria de la velocidad de adsorción del cadmio con respecto al tiempo es mayor cuando la adsorción del Cd es menor a un pH 5.2. (Tejada *et al.*, 2015) explican que el efecto del pH es necesario ya que controla los parámetros en los procesos de diferentes tipos de adsorción de metales pesados los pH. deben ser superiores a 4,5 de pH. explican la adaptación estadística de la velocidad de adsorción de los modelos de primer orden para la adsorción de plomo de la cascara de naranja para el mejor proceso de adsorción, para el propósito del pH es importante para el parámetro que controla en los procesos de adsorción de metales pesados los pH. deben ser superiores a 4,5 de pH (Farfán *et al.*,

2015). Explica el autor en la determinación de la contaminación por metales pesados de cadmio en agua, sedimento y en mejillón en los puentes perimetral 5 de junio el Cd se encontró solo en agua una velocidad  $0,016 \pm 0,002$  ppm. El Cd obtuvo una mayor concentración de 47,75-135,29 ppm en comparación de otros metales Cd  $2,30 \pm 0,79$  ppm en altas concentraciones (Castro, 2017).

Tabla 17

*Ajuste de datos cinéticos al modelo de pseudo primer orden para el cadmio*

t(min.)	Y (ml/g)	Ymax-Y	log(Ymax-Y)
5	0.1299	0.0076	-2.11918641
15	0.1307	0.0068	-2.16749109
30	0.1324	0.0051	-2.29242982
60	0.1354	0.0021	-2.67778071
120	0.1375	0	



*Figura 13. Modelo de pseudo primer orden para el cadmio a pH 5.2.*

En la figura 13 se parecía el modelo de pseudo primer orden para el cadmio a pH 5.2 cuyo gráfico nos muestra la curva de datos experimentales se ajusta aproximadamente a una recta de acuerdo a la ecuación  $\text{Log}(Y_{\text{max}}-Y) = -0.0104 t - 2.0275$  con un coeficiente de determinación de 0.9754. Es necesario resaltar las

fuentes de metales pesados, para prevenir la contaminación por ende estos se vinculen en el medio ambiente (Vílchez, 2005), también muchos de que a partir de estos productos estén vinculados o presentes en los seres vivos, así mismo la calidad de vida aportando cuando son usados correctamente (Hidalgo *et al.*, 2004) finalmente el carbón de hueso se prepara a partir de los restos de huesos de animales que se calcinan a una temperatura y tiempo (Cristina *et al.*, 2006)

Tabla 18

*Ajuste de datos cinéticos al modelo de Elovich para cadmio aun pH 5.2*

t(min.)	Y	ln(t)
5	0.1299	1.609
15	0.1307	2.708
30	0.1324	3.401
60	0.1354	4.094
120	0.1375	4.787

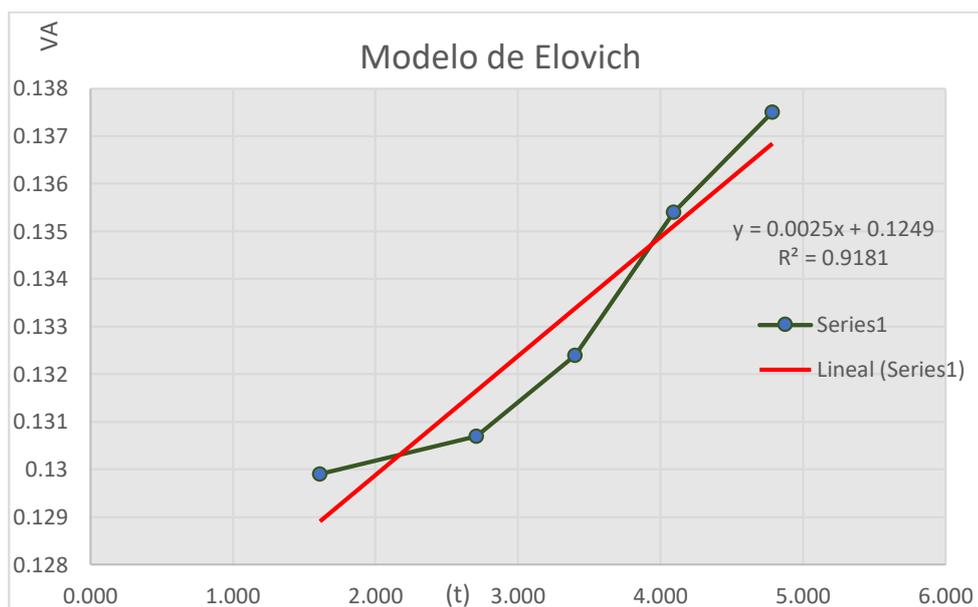


Figura 14. Modelo de elovich para cadmio a un pH 5.2

En la figura 14 se aprecia el Modelo de elovich para cadmio a un pH 5.2 cuyo grafico nos muestra la curva que la variación de velocidad de adsorción de Cd. Vs tiempo es la curva de datos experimentales se ajusta aproximadamente a una recta de acuerdo a la ecuación  $Y = 0.0025\ln(t) + 0.1249$  con un coeficiente de



determinación de 0.9181 con este modelo, tenemos una mejor correlación de  $R^2$  que con el modelo pseudo primer orden, de modo que el modelo cinético correspondiente es el modelo de ELOVICH. La variable del tiempo de las reacciones cinéticas químicas es el estudio de las reacciones químicas de la misma manera que los reactivos siguen el camino para convertirse en productos Levenspiel (1987) así mismo, la medida de variación con el tiempo la velocidad de reacción de las cantidades de reactivo a producto (Treybal, 1980) finalmente al aumentar la temperatura, se aumenta de moléculas a un porcentaje de energías, por lo que aumenta la reacción de velocidad (Vizcaíno *et al.*, 2017). Algunos autores determinaron los datos experimentales utilizan los modelos de Thomas para ver como es el comportamiento de otros tipos de biomateriales para ver la remoción de Pb y el Cd los modelos de Thomas y con correlaciones  $R^2 = 0,99$  y  $0,97$ , respectivamente utilizando como bioadsorción el residuo de mazorca de cacao la cual también es una alternativa de bajo costo (Lara *et al.*, 2016). Indican estos autores para el ajuste con modelo Elovich con un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0.99$  y  $0.94$  al modelo de cadmio la cual este modelo predice el comportamiento de todo el proceso de biosorción y un  $R^2 = 1$  y Elovich  $0.94$  en el ámbito de estudio utilizaron en la adsorción química como etapa de control (Vera *et al.*, 2016).

## CONCLUSIONES

- Las propiedades físico químicas del carbón de hueso de alpaca como son: densidad 1.08 cm<sup>3</sup>, humedad 11.14 %, grasa 2.78 %, ceniza de 8.42 %. y un sistema poroso del carbón activado, por activación con el ácido fosfórico a una concentración del 80 % se utilizaron las muestras de malla 10 cuyo diámetro es de 0.0767 micras.
- El equilibrio iónico de adsorción en aguas residuales de la laguna de espinar, se determinó: el plomo 0,79 g/l y cadmio 0,43 g/l a un pH 6.8, cuyo tratamiento de la capacidad de adsorción con carbón activado del hueso de alpaca de 0.13 g/l de plomo y de cadmio es 0.056 g/l, la velocidad de adsorción es de 0.036g/l.g.m de plomo y de cadmio 0.025g/l.g.m
- La velocidad de adsorción del primer orden donde se ajusta a un pH 6.8 fue de  $y = 0.7742 \ln_t + 0.9974$  con un coeficiente de 0.9891 cuyo porcentaje es de 98.9 % de plomo y el cadmio de  $y = 0.025 \ln_t + 0.1249$ , con un coeficiente de 0.9181 cuyo porcentaje es de 91.8 % con un pH 5.2. En la adsorción de metales pesados por el carbón activado de hueso de alpaca presento una correlación dependiente del tamaño de catión, presentando una mayor velocidad de adsorción para el catión más grande, plomo seguido por el cadmio. El carbón activado de hueso de alpaca absorbe eficientemente a los metales pesados como plomo y cadmio por lo que es factible el uso como alternativa de solución.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las autoridades competentes a realizar evaluaciones e investigaciones de la técnica de adsorción con carbón activado de hueso de alpaca en la laguna de Espinar con el objetivo de conocer las condiciones fisicoquímicas de toxicidad de metales pesados.
- Se recomienda realizar evaluaciones del carbón activado del hueso de alpaca con diferentes concentraciones para evaluar otros elementos químicos contaminantes en cuerpos acuáticos.
- Realizar monitoreos frecuentes en pasivos ambientales para evaluar metales pesados en diferentes cuerpos acuáticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, H. A., Barraza, C. A., & Albis, A. R. (2017). Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 58–76. <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/7901/8943>
- Acuña, B. (2018). *Facultad de ingeniería y arquitectura* (Issue Ii). Universidad Alas Peruanas.
- Albarracin, F. (2014). *Capacidad de adsorción para remover el metálico de Pb (II) por el tanino de la cascara de Tarwi (Lupinus Mutabilis Sweet), de las aguas del rio Ramis*. Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Amazquita, H. (2010). *Universidad autónoma de nuevo león*. Universidad Autonoma De Nuevo Leon.
- Atkinson, B. (1998). *Atkinson, B. (1998). Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents, Water*.
- Bonilla, A., Mendoza, D., & Reynel, H. (2016). *Carbón de hueso: síntesis, propiedades fisicoquímicas y aplicaciones en el tratamiento de agua*. researchgate.
- Calcina, L. (2007). *Presencia de metales pesados en la Biota acuática (orestias Sp y Shoenoplecctus totora) de la desembocadura del rio Ramis – Lago Titicaca*. Facultad de Biología UNA-Puno.
- Calcina Rondán, L. E. (2007). *Presencia de metales pesados en la Biota acuática (orestias Sp y Shoenoplecctus totora) de la desembocadura del rio Ramis – Lago Titicaca*. UNA-Puno.
- Campos, E. (2008). *Estudio de la adsorción de cromo hexavalente utilizando como biomaterial la ectodermis de opuntia México*.
- Carberry, J. (2000). *“Ingeniería de la Reacciones Químicas y Catalíticas”* (Géminis –).
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2010). *Propiedades adsortivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo*. 21(3), 224–229.

- Castro, R. (2017). *Contaminación por metales pesados cadmio y plomo en agua, sedimento y en mejillón mytella guayanensis (Lamarck, 1819) en los puentes 5 de junio y perimetral (estero salado, Guayaquil-Ecuador)*. Universidad de Guayaquil.
- Cervantes, A., Cruz, M., Aguilar, R., Castilla, P., & Meraz, M. (2011). *Caracterización Físicoquímica y Microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto*. 10(1), 67-77. <https://doi.org/Revista Mexicana de Ingeniería Química>
- Cristina, M., Barba, P., Acevedo, N. M., Cortés, R. P., & Lima, E. (2006). *Caracterización de hueso de bovino anorgánico: Nukbone*. 20(4), 150–155.
- Cruz, E., Bayo, J., & Titulaci, B. (2012). *Trabajo Fin de Máster. II*.
- Cuizano, N. A., & Navarro, A. E. (2008). *Química y Medio Ambiente Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones*. 104(2), 120–125.
- Farfán, B., Diana, F., Calli, P., Rocio, P., Terrazas, M., Edmundo, G., & Peralta, C. (2015). Nota científica Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011 Water quality of the inner Puno Bay, Titicaca Lake, during summer 2011. 2015.
- Franco, R. O. F. (2014). *Análisis del problema del agua potable y saneamiento: ciudad de Puno situación actual y realidad*. 16, 5–8.
- Garcés Jaraba, L. E., & Coavas Romero, S. C. (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*. Vi, 1–129.
- García, F. P., Ángeles, M. D. L., Vargas, L., Aurora, M., Marzo, M., Esteban, E. B., Carlos, J., & Oyarzún, G. (2006). *Daños tóxicos en tejidos vegetales, producidos por aguas contaminadas con arsénico en Zimapán, Hidalgo, México I*. 26(1), 94–97.
- García, N., Villanueva, P., Campos, E., & Velázquez, A. (2012). *Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas residuales México*.
- Hidalgo, S., & Martínez, M. (2004). *Reutilización de rapa para la eliminación de metales tóxicos en efluentes líquidos*. Universidad Politécnica.

- Hussein, H. (2004). *Isolation and characterisation of Pseudomonas resistant to heavy metals contaminants. Arab Journal of Biotechnology*. *Adsorcion\_23226.pdf*.  
<http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3.Fenomenosuperficiales>.
- INEI. (2019). *Instituto Nacional de estadística e Informática*.
- Ivan, D., Rubio, C., Adolfo, R., Calderón, M., & Gualtero, A. P. (2015). *Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales . Una Revisión Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater . A Review*. *13*(1), 73–90.
- Keser, G., & G., B. (2012). *Effects of water irrigation on chemical and physical properties of Petroselinum crispum. Biol. Trace Elem. Res.*  
<https://doi.org/10.1007/s12011-011-9259-7>.
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, Á., Arrieta, A., & Granados Conde, C. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao / Adsorption of lead and cadmium in continuous of fixed bed on cocoa waste / Adsorção de chumbo e cádmio no sistema de leito fixo contínua relativa aos resíduos de cacau. *Revista ION*, *29*(2), 113.
- Laupa, H. (2016). *Adsorción de cadmio con carbon activado*. Universidad Alas Peruanas.
- Lavado, C., Sun, R., & Bendezú, S. (2010). *Usando carbones activados adsorption of lead from industrial wastewater using activated carbons with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>*. *76*(2), 165–178.
- Levenspiel, O. (1987). *Ingeniería de las reacciones Químicas* (Repla, S.A).
- Leyva-Ramos, R., Medellín-Castillo, N. A., & Flores-Cano, J. V. (2015). Bone Char : Adsorbent Manufactured from Animal Bones Waste . Adsorption of Fluoride from Aqueous Solution Carbonizado de Hueso : Adsorbente Preparado a partir de Residuos de Huesos de Animales . Adsorción de Fluoruro en Solución Acuosa. *Bol. Grupo Español Carbón*.
- Londoño-franco, L. F., Londoño-muñoz, P. T., & Muñoz-garcía, F. G. (2016). *En la salud humana y animal risk of heavy metals in human and animal health risco de metais pesados na saúde humana e animal*. *14*(2), 145–153.

[https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)

- Luna, J., & Baraja, G. (2009). *Metales pesados y su toxicología. Obtenido de estrucplan.*
- Luque, C., Urquizo, D., & Maldonado, A. (n.d.). Biosorción de plomo de aguas contaminadas utilizando el Kikuyo Cuzco. 2012.
- Luttera. (1985). *Carbón activado* (3ra ed.).
- Medina, K., & Manrique, A. (2018). *Uso del carbón activado para el tratamiento de aguas . Revisión y estudios de caso . Use of activated coal for water treatment . Review and case studies .*
- Moreno Terrazas, E., Argota Pérez, G., Alfaro Tapia, R., Aparicio Saavedra, M., Atencio Limachi, S., & Goyzueta Camacho, G. (2017). Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca- Puno Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(2), 125–134. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.271>
- Muzzarelli, R. (1977). *Chitin. Oxford, UK: Pergamon Press.*
- Panikkar, A., & Okalebo, S. (2010). *Handbook of Environmental Engineering. 11: Enviro*(Ed.), L. K. Wang et al.,). [https://doi.org/10.1007/978-1-60327-031-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-60327-031-1_16).
- Proyecto especial lago Titicaca- PELT. (2007). *Resultados de análisis de metales pesados, para 15 puntos de muestreos establecidos para el año 2004 Rio Ramis y del Lago Titicaca Puno- Perú.*
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Mercedes, D., & González, E. (2016). *Contaminación por metales pesados : implicaciones en salud , ambiente y seguridad alimentaria Heavy metals contamination : implications for health and food safety. 16, 66–77.*
- Rincón, J., Rincón, S., Guevara, P., Ballén, D., Morales, J. C., & Monroy, N. (2015). *Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías. 39(151), 171–175.*
- Rodríguez-Miranda, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparaci??n del tratamiento de aguas residuales dom??sticas utilizando lentejas y

- buch??n de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 1(1), 59–68.
- Rodríguez, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Rojas, N. G. (2012). *Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales*. 109–129.
- Sánchez Góngora, M. A., Peón Escalante, I. E., Cardona Juárez, T., Ortega Arroyo, L., & Urriolagoitia Calderón, G. (2016). Evaluación inicial de parámetros de campo en un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 173–184. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57725>
- Sepulveda, C. (2014). *Universidad autonoma de nuevo leon facultad de ciencias químicas*.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura . Una revisión Domestic wastewater reuse in agriculture . A review. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 347–359. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13521/14204>
- Sun-kou, R., Obreg, D., Luc, A., & Aylas-orej, J. (2014). *Activados preparados a partir de adsorption of heavy metals using activated carbons prepared from aguaje stones*. 80(51), 225–236.
- Tejada-tovar, C., & Villabona-ortiz, Á. (2015). *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials*. 18(34), 109–123.
- Tejada, C., Garzon, J., & Gonzales, L. (2012). *Adosrcion de Cr (VI) utilizando el carbon activado a partir de cáscara de naranja* (Issue Vi). Universidad de Cartagena.
- Tejada, C. N., Montiel, Z., & Acevedo, D. (2016). Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb(II). *Informacion Tecnológica*, 27(1), 9–20. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100003>



- Tejada, C., Villabona, A., & Garcés, L. (2014). *Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión Cartagena*.
- Tovar, C. T., & Herrera, A. (2016). *Remoción de plomo por biomasas residuales de cáscara de naranja ( citrus sinensis ) y zuro de maíz ( zea mays ) removal of lead using residual biomass of orange peel and corncob*. 169–178.
- TreybaL, R. E. (1980). *Operaciones de transferencia de masa* (McGraw-Hil).
- Vera Cabezas, L., Uguña, M., García Alvear, N., Flores, M., & Vázquez Freire, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad: Revista de Química Teórica y Aplicada*, 73(573), 43–49.
- Vílchez, R. (2005). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante sistemas de lechos sumergidos, España*.
- Vizcaíno, L., Fuentes, N., & González, H. (2017). Adsorption of lead ( II) with stems and leaves of eichhornia crassipes in aqueous solution. *Udca*, 20(Ii), 435–444. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a21.pdf%0Ahttps://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/400>
- Volesky, B., & Prasetyo, L. (1990). *Cadmium removal in an adsorption, Biotechnology and Bioengineering*.



# ANEXOS

### Anexo 1: Trituración del hueso de alpaca



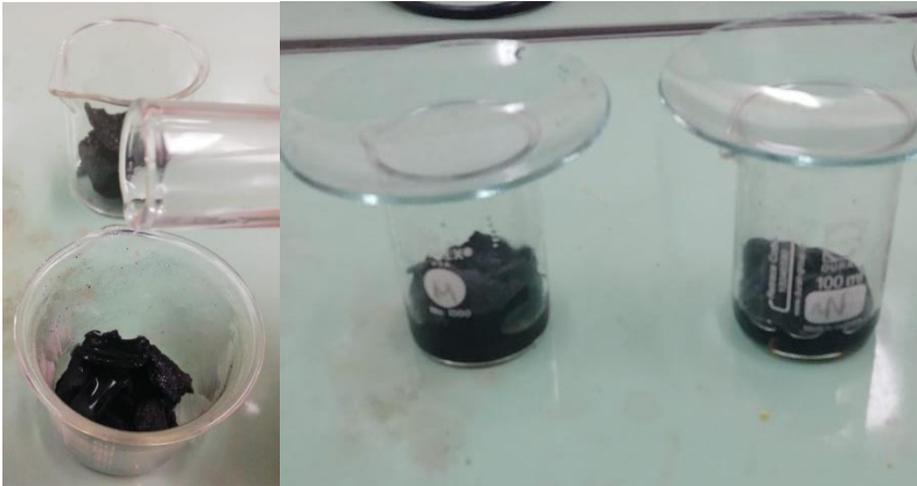
### Anexo 2: Hueso de alpaca en la mufla eléctrica



### Anexo 3: Resultado del carbón a diferentes temperaturas



#### Anexo 4: Tratamiento con ácido fosfórico el carbón de hueso de alpaca



#### Anexo 5: Trituración y separación por tamaños en la malla Tayler el carbón activado del hueso de alpaca



#### Anexo 6: Pruebas de adsorción con aguas residuales



## Anexo 7: Límites máximos permisibles de metales pesados

### LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LIQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO-METALÚRGICAS

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE EN CUALQUIER MOMENTO	LIMITE PARA EL PROMEDIO ANUAL
pH		6-Set	6-Set
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Suspensión	mg/L		
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0,8
Arsenico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04
Cromo hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,06
Cobre total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo EVA ROSA ALOPZA CRUZ,  
identificado con DNI 40240837 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

EN ECOLOGIA CON MENCIÓN EN EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"ANÁLISIS DE PLANTAS Y CADAVÍEROS CON CARBÓN ACTIVADO DE  
HUESO DE ALPACA EN AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE  
ESPINAR - PUNO"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 07 de AGOSTO del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo EVA ROSA ROSA ROSA ROSA  
identificado con DNI 40240837 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ENEKOLOGIA CON HERRAMIENTAS EN EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"ASOCIACION DE PICO Y CADENA CON CARBON ACTIVADO DE HUESO  
DE MORCA EN AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE ESPINAR-  
PUNO"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 07 de AGOSTO del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella