



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**REMOCIÓN DE LOS METALES PESADOS MERCURIO Y  
ARSÉNICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL BIOCARBÓN  
DE WARAQO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA MINA  
RINCONADA - PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. YONI ZAPANA COILA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis principalmente a Dios porque él es quién me ha guiado en la dirección correcta, me ha dado la fuerza para seguir adelante y no me ha defraudado ante situaciones potencialmente adversas. A mis padres Quintina y Francisco, por su comprensión y ayuda en las buenas y en las malas quienes me enseñaron a enfrentar la adversidad sin rendirme. Me dieron todo lo que soy, mis valores, mis principios, mi constancia y mi compromiso.*

*A Celeste por su paciencia, por su comprensión, por su compromiso, por su fortaleza, por su amor, por lograr el equilibrio que me permite dar lo mejor de mí. Para mi amado hijo, Edikvander, quien vino a este mundo para darme la máxima motivación, definitivamente es mi referencia para el presente y el futuro. A la Universidad Nacional del Altiplano, alma mater en mi formación profesional, por darme la oportunidad de superarme con las mejores herramientas y metodologías de la ingeniería en el sector minero.*

**Yoni.**



## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios porque él ha sido quién me ha guiado por el sendero correcto, brindándome la fuerza para seguir adelante y no tropezar en las situaciones adversas de la vida. A mis padres Francisco y Quintina, al Dr. Aníbal Sucari León, por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección y por sus valiosos consejos y orientaciones para la realización de la misma. A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, y a los docentes que la integran. Por la formación profesional impartida.*

**Yoni.**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 11**

**ABSTRACT..... 12**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. DESCRIPCIÓN PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ..... 13**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 13**

1.2.1. Problema General ..... 13

1.2.2. Problema Especifico ..... 14

**1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... 14**

1.3.1. Hipótesis General..... 14

1.3.2. Hipótesis Especifica..... 14

**1.4. JUSTIFICACIÓN ..... 14**

**1.5. OBJETIVOS..... 15**

1.5.1. Objetivo General..... 15

1.5.2. Objetivos Específicos ..... 15

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES ..... 16**

**2.2. MARCO TEÓRICO ..... 24**

2.2.1. Waraqa sancayo ..... 24

2.2.2. Distribución del waraqqo ..... 24

2.2.3. Descripción botánica del waraqqo ..... 25

2.2.4. Clasificación taxonómica del waraqqo ..... 26

2.2.5. Composición química del waraqqo..... 26

2.2.6. Carbón Activado ..... 27

2.2.6.1. Generalidades del carbón activo..... 27

2.2.6.2. Propiedades..... 28



2.2.6.3.	Métodos de activación.....	29
2.2.6.4.	Activación física o térmica.....	29
2.2.6.5.	Activación química.....	30
2.2.7.	La Activación química con $H_3PO_4$ :.....	31
2.2.7.1.	Celulosa.....	32
2.2.7.2.	Hemicelulosa.....	32
2.2.7.3.	Lignina.....	33
2.2.7.4.	La activación química con KOH:.....	34
2.2.8.	Tipos de carbones activados.....	35
2.2.8.1.	Carbón activado pulverizado.....	35
2.2.8.2.	Propiedades fisicoquímicas del carbón.....	35
2.2.8.3.	Capacidad de adsorción.....	35
2.2.8.4.	Contenido de humedad.....	36
2.2.8.5.	Ceniza/material volátil:.....	36
2.2.8.6.	Carbono fijo:.....	37
2.2.8.7.	Densidad aparente.....	37
2.2.9.	Aplicaciones del carbón activo.....	38
2.2.9.1.	Mecanismos de adsorción del carbón activado.....	38
2.2.9.2.	Tipos de poros dentro de una partícula de carbón.....	39
2.2.10.	Propiedades y condiciones que afectan la adsorción en carbón activado.....	40
2.2.11.	Metales pesados.....	40
2.2.11.1.	Efectos en la salud.....	40
2.2.11.2.	Efectos en el ambiente.....	41
2.2.12.	Arsénico.....	41
2.2.12.1.	Arsénico en el agua.....	42
2.2.12.2.	Efectos del arsénico sobre la salud.....	43
2.2.13.	Mercurio.....	44
2.2.13.1.	Ciclo del mercurio.....	45
2.2.13.2.	Mercurio en aguas terrestres.....	46
2.2.14.	Agua residual.....	47
2.2.15.	Efectos del mercurio sobre la salud.....	47
2.2.16.	La Minería.....	48
2.2.16.1.	La minería informal en el Perú.....	48
2.2.16.2.	Causas de la minería ilegal.....	49
2.2.16.3.	Utilización del Mercurio en los Procesos Mineros.....	50



2.2.17. Comportamiento del Mercurio en los Ambientes Acuáticos..... 50

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

**3.1. ZONA DE ESTUDIO..... 51**

**3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN ..... 51**

**3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN ..... 52**

**3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA ..... 52**

3.4.1. Población ..... 52

3.4.2. Muestra ..... 52

**3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 53**

3.5.1. Técnica..... 53

3.5.2. Instrumento ..... 53

3.5.3. Materiales..... 53

3.5.4. Equipos ..... 54

3.5.5. Reactivos:..... 54

**3.6. PROCEDIMIENTO ..... 54**

3.6.1. Determinación de la concentración del mercurio y arsénico antes del tratamiento con biocarbon de waraqqo..... 56

3.6.2. Elaboración de carbón activado ..... 57

3.6.3. Obtención de carbón activado para la remoción de mercurio: ..... 58

3.6.4. Preparación de tres muestras a diferentes pH y tiempo de agitación ..... 60

3.6.5. Determinación de la concentración del mercurio y arsénico después del tratamiento con biocarbon de waraqqo..... 60

3.6.6. Capacidad de remoción de mercurio y arsénico ..... 61

3.6.7. Determinación del porcentaje de remoción: ..... 61

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**4.1. RESULTADO PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO..... 62**

4.1.1. Elaboración del carbón activado..... 63

4.1.2. Tratamiento de la materia prima..... 63

4.1.3. Análisis químico proximal..... 63

4.1.4. Características de la materia prima ..... 65

**4.2. RESULTADO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO ..... 66**

**4.3. RESULTADOS SEGÚN EL OBJETIVO GENERAL ..... 67**

4.3.1. Capacidad de remoción de mercurio por el carbón activado con  $H_3PO_4$  . 67

4.3.2. Efecto del tiempo de agitación y pH..... 68



4.3.3.	Regresión simple - %remoción de mercurio vs. pH .....	69
4.3.4.	Capacidad de remoción del arsénico por el carbón activado con FeCl <sub>3</sub> ..	72
4.3.5.	Efecto del tiempo de agitación y pH.....	73
4.3.6.	Regresión Simple - %Remoción de Arsénico vs. Tiempo de agitación ...	74
4.3.7.	Análisis de Varianza .....	75
<b>4.4.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>78</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>89</b>

**Área:** Ingeniería de Minas

**Línea:** Sistema de Gestión de Calidad, Medio Ambiente y Responsabilidad Social

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 24 de agosto del 2022



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de carbonos activados .....	35
<b>Tabla 2.</b> Coordenadas UTM Mina La Rinconada .....	51
<b>Tabla 3.</b> Muestras para la remoción del Arsénico.....	60
<b>Tabla 4.</b> Muestras para la remoción del mercurio.....	60
<b>Tabla 5.</b> Caracterización de las aguas residuales de la mina Rinconada .....	62
<b>Tabla 6.</b> Análisis químico proximal del biocarbon de waraqo .....	63
<b>Tabla 7.</b> Características de la materia prima. ....	65
<b>Tabla 8.</b> Concentración final después del tratamiento para el mercurio.....	66
<b>Tabla 9.</b> Concentración final después del tratamiento para el arsénico .....	67
<b>Tabla 10.</b> Capacidad y remoción del Mercurio.....	67
<b>Tabla 11.</b> Remoción de mercurio a diferentes tiempos y pH con biocarbon.....	68
<b>Tabla 12.</b> Regresión simple %remoción de mercurio vs pH .....	69
<b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza %Remoción de mercurio .....	70
<b>Tabla 14.</b> Capacidad y remoción del Arsénico con biocarbon .....	73
<b>Tabla 15.</b> Remoción de arsénico a diferentes tiempos y pH con biocarbon .....	73
<b>Tabla 16.</b> Regresión simple % remoción de arsénico vs tiempo de agitación.....	75
<b>Tabla 17.</b> Análisis de varianza para él % de remoción del arsénico.....	75



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del waraqqo.....	25
<b>Figura 2.</b> Waraqqo .....	26
<b>Figura 3.</b> Comparación la estructura del grafito y las capas del carbón activado.....	28
<b>Figura 4.</b> Boceto de la macromolécula de la celulosa .....	32
<b>Figura 5.</b> Boceto de la macromolécula de la hemicelulosa .....	32
<b>Figura 6.</b> Boceto de la macromolécula de la lignina .....	33
<b>Figura 7.</b> Porosidad del carbono .....	39
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo para la remoción de mercurio y arsénico .....	55
<b>Figura 9.</b> Diagrama de flujo para la elaboración de carbón activado .....	57
<b>Figura 10.</b> Análisis de espectroscopia de barrido electrónica del biocarbon.....	64
<b>Figura 11.</b> Efecto del pH en el % de remoción de mercurio.....	68
<b>Figura 12.</b> Efecto de tiempo de agitación en el % de remoción mercurio.....	69
<b>Figura 13.</b> Modelo ajustado % remoción de mercurio vs pH.....	71
<b>Figura 14.</b> Modelo ajustado % de remoción de mercurio vs tiempo de agitación.....	72
<b>Figura 15.</b> Efecto de pH en el % de remoción de arsénico.....	73
<b>Figura 16.</b> Efecto de tiempo de agitación en el % de remoción de arsénico .....	74
<b>Figura 17.</b> Modelo ajustado % remoción de arsénico vs tiempo de agitación .....	76
<b>Figura 18.</b> Modelo ajustado % de remoción de arsénico vs el pH. ....	77



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANA: Autoridad Nacional del Agua

AQ: Adsorción química

CE: Conductividad eléctrica

Q: Capacidad de Adsorción

*qc*: Capacidad de adsorción en mg de As / g de carbón activado

*CO*: Concentración inicial en mg /L

*Cf*: Concentración final

V: Volumen de la muestra en L

M: masa del material absorbente usado.

*We*=peso del precursor antes de la carbonización

*Ws*=peso del carbón obtenido

*%R*=porcentaje de rendimiento



## RESUMEN

La presencia de metales pesados (Hg y As) en el agua, es un problema que compromete a la salud pública a nivel global, ya que son elementos altamente tóxicos y peligrosos para el ser humano. La descarga de aguas residuales sin tratamiento debido a las actividades mineras informales se ha convertido en un grave problema ambiental. Por lo tanto, las estrategias para eliminarlas son imprescindibles de investigar. Por ello, el objetivo fue determinar el porcentaje de remoción de los metales pesados mercurio y arsénico mediante la aplicación del biocarbón de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada - Puno. Presenta un enfoque cuantitativo y un tipo de investigación experimental, a escala de laboratorio, como primer paso se determinó la concentración de mercurio y arsénico antes de la aplicación del biocarbon de waraqqo, posteriormente se realizaron pruebas de adsorción utilizando 6 g de biocarbon puestos en contacto con 500 ml de solución de agua residual a diferentes tiempos de agitación (20-100) min a 200 rpm y un pH en el rango (5-12), posteriormente se determinó la concentración de mercurio y arsénico después de la aplicación del biocarbon de waraqqo. Logrando como resultado una reducción de la concentración de mercurio de 11,875mg/l a 4,375mg/l en el caso de arsénico la reducción fue de 11,107mg/l a 0,0719mg/l. Concluyendo que el máximo porcentaje de remoción en mercurio fue de 68%, a un pH = 5 y 100 minutos tiempo de agitación, mientras que para el arsénico se logró una reducción de 99% en las mismas condiciones.

**Palabras Clave:** Arsénico, biocarbon, efluentes mineros, mercurio, remoción.



## ABSTRACT

The presence of heavy metals (Hg and As) in water is a problem that compromises public health globally, as these elements are highly toxic and dangerous to humans. The discharge of untreated wastewater due to informal mining activities has become a serious environmental problem. Therefore, strategies to eliminate them are essential to investigate. Therefore, the objective was to determine the percentage of removal of heavy metals mercury and arsenic by the application of waraqqo biochar in wastewater from Rinconada mine - Puno. It presents a quantitative approach and a type of experimental research, at laboratory scale, as a first step the concentration of mercury and arsenic was determined before the application of waraqqo biochar, Subsequently, adsorption tests were carried out using 6 g of biochar placed in contact with 500 ml of wastewater solution at different agitation times (20-100) min at 200 rpm and a pH in the range (5-12), then the concentration of mercury and arsenic was determined after the application of the waraqqo biochar. As a result, the mercury concentration was reduced from 11.875 mg/l to 4.375 mg/l, and the arsenic concentration was reduced from 11.107 mg/l to 0.0719 mg/l. Concluding that the maximum percentage of mercury removal was 68%, at pH = 5 and 100 minutes agitation time, while for arsenic a reduction of 99% was achieved under the same conditions.

**Keywords:** Arsenic biocarbon, mercury, mining effluents, removal



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Actualmente, existe una gran preocupación a escala mundial, ya que la proporción de contaminación de aguas residuales industriales provocada por metales como el mercurio y el arsénico ha aumentado de forma significativa. Estas sustancias tóxicas tienden a persistir indefinidamente en el ambiente, afectando no sólo la salud y el equilibrio de la flora y fauna existente en dicho ecosistema, sino también la salud de las personas que habitan en las comunidades aledañas, por su acumulación e infiltración en el medio ambiente, cadena alimenticia de nutrientes. En los humanos, la presencia de los metales pesados puede volverse muy tóxicos cuando se introducen en el cuerpo. En altas concentraciones, estas sustancias pueden causar: sarpullido, dolor estomacal (úlceras), problemas respiratorios, sistema inmunológico debilitado, daño renal y hepático, aumento de la presión arterial, cambios en el material genético del cuerpo, cáncer, trastornos neurológicos e incluso la muerte. Está claro que existe la necesidad de adsorber metales pesados de aguas residuales de minería informal, por ello se elaborara carbón activado a partir de waraqqo mediante activación química con 85% de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y 85% de cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) a escala piloto.

### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.2.1. Problema General

¿Cuál es el porcentaje de remoción de los metales pesados mercurio y arsénico mediante la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada - Puno?



### **1.2.2. Problema Especifico**

¿Cuál es la concentración de mercurio y arsénico antes de la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la Mina Rinconada -Puno?

¿Cuál es la concentración de mercurio y arsénico después de la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la Mina Rinconada -Puno?

## **1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis General**

El porcentaje de remoción de los metales pesados mercurio y arsénico es significativo mediante la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales se la mina Rinconada-Puno.

### **1.3.2. Hipótesis Especifica**

La concentración de mercurio y arsénico sobrepasa los límites máximo permisibles antes de la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada-Puno.

La concentración de mercurio y arsénico se encuentra por debajo de los límites máximo permisibles después de la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada-Puno.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Las altas concentraciones de mercurio (Hg) y arsénico (As) en los cuerpos de agua causadas por la minería artesanal ilegal de oro son un grave problema de salud debido a la toxicidad de los mismos. Es necesario aplicar tecnologías basadas en sistemas de tratamiento pasivo de probada eficiencia y bajos costos de mantenimiento y



operación. Se han propuesto muchas técnicas de tratamiento, como la neutralización química, la adsorción, la tecnología de membranas y el tratamiento biológico. Estos métodos requieren grandes cantidades de estos compuestos y producen grandes cantidades de lodos y contaminantes secundarios. Como solución rentable y respetuosa con el medio ambiente para eliminar el mercurio (Hg) y arsénico (As) de estas aguas, se propone sintetizar biocarbón a partir de waraqqo para eliminar el mercurio y el arsénico.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar el porcentaje de remoción de los metales pesados mercurio y arsénico mediante la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada – Puno.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

Determinar la concentración de mercurio y arsénico antes de la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada-Puno.

Determinar la concentración de mercurio y arsénico después de la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada-Puno.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Sucari (2022) en su investigación señala la existencia de los metales pesados en las aguas residuales de mina fue lo siguiente: mercurio = 2,1mg/l, cadmio = 3mg/l, mercurio = 0,004mg/l, plomo = 0,16mg/l que al aplicar su tratamiento redujo la concentración de los metales pesados arsénio, plomo y mercurio en un 100%, logrando estar por debajo de los ECAS del agua D.S. N° 004-2017-MINAM normativa peruana, excepto para el cadmio ya que se redujo el 61.9% ya que utilizó 60g de compost de residuos orgánicos urbanos en un tiempo de 72 hr para 500ml de agua ácida de mina con un pH de 2.52, así mismo logró incrementar el valor de pH a 6.2 siendo menos ácido que a inicio.

Mohamed et al (2021) en su trabajo diseñó y fabricó un innovador nano compuesto magnético mediante la funcionalización y el soporte de nanopartículas magnéticas de Mnferrita ( $MnFeO_2$ ) con una doble capa de hidróxido (ZnAl LDH) sobre celulosa y biocarbón activado derivado del tallo de la uva (AGB) ( $MnFe_2O_4$  Zn-Al LDHs Cel AGB), para incorporar funcionalidades activas y características fantásticas con el objetivo de explorar su viabilidad para la eliminación de especies catiónicas nocivas como el tinte azul de metileno (MB) y los iones de mercurio de las aguas residuales. Los resultados refirieron que 10 mg del nano compuesto exhibió una eficiencia de eliminación del 97,4% y 84,0% de  $10 \text{ mgL}^{-1}$  MB de tinte y  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  Hg (II) en tiempos de contacto de 25 y 30 min, respectivamente. Las isothermas de adsorción y la cinética de los dos contaminantes (MB y Hg (II)) fueron gobernadas por la ecuación de *pseudo*-segundo orden con posible participación del mecanismo de difusión intraarticular.



Ahmed et al (2021) en su investigación produjo un nuevo biocarbón modificado con fósforo (P) (PLBC) pirolizando biomasa de la hierba dietética *Taraxacum mongolicum* Hand-Mazz (TMHM) y tratándola con fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ). Este biocarbón cargado de fósforo se evaluó luego como adsorbente para la eliminación de As (III) del agua contaminada.. Se evidenció que la presencia de P en la superficie del biocarbón (BC) podría mejorar su eficiencia para remover As (III) de ambientes contaminados. Cinética de adsorción se evaluaron mediante la realización de experimentos de tipo lote en tiempos y valores de pH variados (5, 7 y 9). El estudio cinético reveló que se requería un tiempo de contacto de 24 h para alcanzar el equilibrio y los datos experimentales se ajustaban mejor al modelo cinético de pseudo-segundo orden ( $q_e = 17,1 \text{ mg g}^{-1}$ ). Durante las pruebas de adsorción, la máxima adsorción de As (III) se encontró a pH 5. El estudio de adsorción mostró además que, en comparación con BC, PLBC mostró una mayor eliminación de As (III) de las soluciones contaminadas con una capacidad máxima de adsorción de As (III) que alcanza los  $30,76 \text{ mg g}^{-1}$  para PLBC.

Giraldo et al (2020) manifiesta que el adsorbente se preparó a partir de bagazo y se desnaturalizó mediante tratamiento térmico y activación química utilizando activadores ( $\text{ZnCl}_2$  y  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Luego se utilizaron adsorbentes modificados para eliminar el mercurio (Hg (II)) de las soluciones acuosas. Se realizaron tratamientos de adsorción por lotes para explorar la influencia de la cinética, la isoterma y el pH en la adsorción de Hg (II). Los resultados muestran que tiene una alta capacidad de adsorción de Hg (II) (más del 90%) debido a los diferentes grupos funcionales generados por el tratamiento termoquímico. El proceso de adsorción se describe mejor mediante un modelo cinético de pseudo segundo orden. La eliminación de Hg (II) implica la existencia de grupos funcionales, como  $-\text{COO}$ ,  $-\text{O}$ ,  $\text{C} = \text{C}$  y  $\text{C} = \text{O}$ , en la superficie del material que se une



selectivamente al Hg (II) por formación de complejos, electrostáticos. Interactuar y complejarse con electrones  $\pi$ . Con base en estos resultados, se determinó que el adsorbente era efectivo para eliminar el Hg (II) y como una alternativa válida para el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

Babazad, Kaveh, Ebadi, & Mehrabian (2021) describen que el material de carbono poroso obtenido de la cáscara de arroz se utilizó para la remoción por adsorción de plomo (Pb) y arsénico (As) de soluciones acuosas. Las características morfológicas y cristalográficas de la superficie adsorbente. Se determinaron mediante técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD). La eficiencia de eliminación se investigó en diferentes condiciones de pH (3 a 9), tiempo de contacto (3 a 90 min), cantidad de adsorbente (0,5 a 6 g / l) y concentración inicialmente adsorbida (10 a 100  $\mu\text{g}$  / l). Se utilizó el método de superficie de respuesta (RSM), un diseño de Box-Behnken (BBD), para optimizar la adsorción de plomo y arsénico por la cáscara de arroz. La eficiencia de eliminación se calculó finalmente mediante análisis de varianza. De acuerdo con los resultados del análisis de adsorción, la eficiencia de remoción de Pb y As en soluciones acuosas aumentó (hasta 97%, 85% para Plomo y Arsénico) en condiciones óptimas.

Carranza & Barrera (2019) en su investigación realizaron la adquisición y caracterización del carbón activado de la vaina de Delonix activándolo con ácido fosfórico, hidróxido de potasio e hidróxido de sodio con una relación de impregnación de 1/1, 2/1, 1/5 y 5/1 para dos horas y 600°C obtuvo un valor de rendimiento máximo de 22,93% y 11% humedad, cenizas totales 2,80% de 56,4 % de carbono orgánico y 0,86% nitrógeno y la cantidad de yodo fue de 776 mL de solución de yodo adsorbente/g de carbón activado para ácido fosfórico carbón activado con relación de impregnación materia prima/peso de ácido fosfórico 1/5. Asimismo, el índice máximo de azul de



metileno corresponde al carbón activado con potasa con 17,75 mL de solución de azul de metileno/0,1 g de carbón activado a una relación ponderal de impregnación de 1/5 material/sodio. Para concluir que el carbón activado obtenido ácido fosfórico es el carbón con mejor capacidad de adsorción y mejor rendimiento.

Avalos (2019) definió como su objetivo general elaborar un procedimiento de grado de laboratorio para obtener carbón activado a partir biomasa de semillas de fenogreco. Las cáscaras de pecanas, conocidas como precursores, se llevaron a un tamaño de partícula de 1 mm y luego se impregnaron con el activador, ácido fosfórico al 40 %, para que reaccionaran durante 12 h. A los efectos de la penetración de la red, se puede lograr una mayor porosidad en las etapas de carbonatación y activación a 200 ° C y 500 ° C. El rendimiento del producto del carbón activado en comparación con el precursor de la cáscara de durazno del lago es del 42%. El control de calidad del carbón activado resultante se realiza con pruebas de turbidez sobre una muestra de agua con una turbidez de 35,5 NTU, ya que uno de los principales usos del carbón activado es para tratar agua y otros líquidos. Los resultados obtenidos con el carbón activado de cáscara de fenogreco son casi similares a los obtenidos con el carbón activado comercial.

Rojas (2018) propone obtener carbón activado a partir del tallo de *Gypsophila elegans* (Mirage); se recogió el residuo de esta hortaliza; en la zona de Acequia Alta de Cayma; luego se separan las hojas y flores del tallo, que es el precursor del carbón activado; los precursores fueron evaluados para parámetros de humedad, volátiles, inmovilizados y cenizas; por método gravimétricos; Se obtuvieron valores promedio: humedad 13.06%, carbón volátil 27,25%, fijación 55,2 3% y ceniza 4,270%. A continuación, las barras se cortaron y se colocaron en un silenciador a 250°C durante 5



min; El carbón obtenido se activó con solución de hidróxido de potasio a 450, 500 y 550°C durante 30, 60 y 90 minutos.

Canales (2018) esta investigación tuvo como objetivo principal obtener carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos de cascarilla de cebada, olotes de maíz y hojas de Agave salmiana mediante los métodos de pirólisis, activación química y asistida con microondas para evaluar su capacidad adsorbente con azul de metileno. Se determinó que condiciones óptimas para el proceso de pirólisis fueron 400 °C (nivel 2), 30 min (nivel 1), 2 g de precursor (nivel 1) y 150 cm<sup>3</sup>N<sub>2</sub>/min (nivel 2) con una velocidad de calentamiento de 20 °C/min. En estas condiciones se obtuvieron carbones con una eficiencia de 20% para mazorca de maíz, 31% para agave y 33% para cebada, obteniéndose materiales con carga superficial anicónico y estructura extremadamente grande en relación a la superficie con menor actividad de adsorción. En contraste, las condiciones óptimas y reproducibles para la activación química con H<sub>3</sub>PO fueron H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% (nivel 1), 60 min (nivel 2), 300 °C (nivel 1) y 100 cm<sup>3</sup>/min (nivel 1); condiciones permitieron obtener carbones activados con rendimientos del 66% para olote, 68% para agave y 87% para cebada, con 3653%, cargas superficiales aniónicas y estructuras mesoporosas bien desarrolladas que condujeron a mayores superficies activas derivadas de los efectos del ácido fosfórico. Los materiales obtenidos por este proceso presentan mayores superficies activas debido a la fusión de estructuras mesoporosas muy desarrolladas con un mayor número de sitios activos de adsorción por influencia del principio activo, químico y microondas, resultando en una importante eficiencia de remoción y capacidad de adsorción.

Aguirre (2017) planteó como objetivo determinar la adsorción de metales pesados (Pb (II), As (V)) utilizando carbón activado procedente de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). El primer método utilizado fue la preparación de carbón activado



por activación química utilizando semillas de eucalipto como precursor y como activador de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) para la adsorción de plomo, cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) para adsorción, de arsénico. Las semillas de eucalipto fueron activadas por activadores como  $H_3PO_4$  y  $FeCl_3$  con un tiempo de impregnación de 2 h, a una temperatura de carbonización de  $500\text{ }^\circ\text{C}$  durante 60 min. Se realizaron pruebas de adsorción con exposición de 2 g de carbón activado a 500 ml de solución acuosa de plomo y arsénico durante 2 h de agitación y 300 rpm, lo que permitió obtener una adsorción efectiva de carbón metálico pesado. Como Pb (II) y As (V); Se eliminó 98.7% de Pb (II) y 70.3% de As (V) en solución acuosa durante agitación de 75 a 120 minutos ya pH 4,97 a 5,6. El carbón activado es muy efectivo para absorber metales pesados de soluciones acuosas.

Leon (2017) propuso su objetivo de investigación determinar la bioadsorción de mercurio (II) de aguas residuales generadas por el centro minero informal Lunar de Oro, con la biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*). Para remover el Hg(II), se trabajó con la biomasa de pulpa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*), preparando así un biosorbente, cuya biomasa se activa en dos pasos de hidrólisis, primero por solución de  $HNO_3$  (0.3 N) luego reacciona con una solución alcalina compuesta por NaOH (0,9 M); Muestreo de agua residual de la piscina de recuperación de Luna de Oro. Este estudio se realizó pesando 50 g de biosorbente en un volumen de 150 mL, con una concentración inicial de 17,125 mg/L Hg(II), el parámetro óptimo de operación para el proceso, se es un pH de 12 y máxima absorbancia. Tiempo 120 min, reducido a 0,288 mg/L Hg(II), equivalente a 98.318  $\mu\text{ads}$  absorbidos; se determinó la capacidad de adsorción, la capacidad máxima de adsorción fue de 631 mg/g Hg(II); para la cinética de adsorción de Hg(II), el modelo de mejor ajuste es un modelo cinético de pseudo



segundo orden con un ajuste del 99,81 %, con una tasa de adsorción de 0,159 mgg1 min.

Morocho y Vera (2015) su trabajo de investigación incluyen la evaluación de la adsorción de plomo y mercurio en carbón activado de cascarilla de arroz. El carbón activado obtenido por activación química se prepara utilizando ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), impregnado en una proporción de 1:5 durante una hora; a una temperatura de carbonatación de 50 °C durante 27 min. Las pruebas de adsorción se realizaron utilizando 0,5 g del biosorbente expuesto a 500 ml de soluciones acuosas de plomo y mercurio a diferentes concentraciones (1, 3, 5, 7, 9, ppm y 10, 20, 30, 0,50 ppb, respectivamente). ) a temperatura ambiente, luego se agitó a 120 rpm durante 1 h controlando el pH desde 5. El análisis de las concentraciones finales de plomo y mercurio se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica. Los porcentajes de adsorción fueron 90,6% y 91,5% para plomo y mercurio, respectivamente.

Barreto (2013) en su investigación obtuvo carbón activado con dos activadores químicos diferentes (ácido fosfórico y cloruro férrico), los cuales fueron determinados según la naturaleza de los contaminantes a tratar (plomo y arsénico); precursores, después de haber sido limpiados y secados, impregnados con el activador seleccionado en diferentes relaciones activador/precursor, por un período de 2 h, secados en estufa a 110°C por tres horas y calcinados a 400, 500 y 600°C por una hora. Las pruebas de adsorción de plomo se realizaron por lotes. En cada caso se utilizaron 0,50 g de carbón activado, que se puso en contacto con 500 mL de una solución contaminada (plomo y/o arsénico) de 2 mg/L a temperatura ambiente (20°C), ajuste la solución a pH = 4,00, luego agite varias veces a 300 rpm durante tres horas. El proceso de activación del hueso de aceituna con activadores como el  $H_3PO_4$  y el  $FeCl_3$  permite obtener carbón



activado capaz de adsorber metales pesados como el Pb (II) y el As (V); puede eliminar el 80% de Pb(II) y 67,50 % As(V) en solución acuosa.

Gamboa (2009) en su investigación preparó carbón activado (CA) a partir de perlas de níspero mediante activación química con  $H_3PO_4$  y KOH. Se evaluaron el efecto de la relación de impregnación (activador/precursor, p/p) y la temperatura de activación sobre la capacidad de adsorción de fenol. Gracias a la adsorción de N a 196 C se determinó que los CAs obtenidos tienen una alta superficie específica: los activados con  $H_3PO_4$  tienen estructura micro porosa, los activados con KOH tienen microestructura y los activados con KOH tienen microestructura poroso y ligero, confirmado por las micrografías obtenidas por SEM. Los CA con KOH mostraron mayor capacidad de adsorción de fenoles que los tratados con  $H_3PO_4$ , lo que está relacionado con la presencia de grupos básicos. El análisis químico detallado muestra 57,72 de carbono, 81 % de volátiles, 2,93 % de humedad. De una solución de fenol de 100 ppm se puede absorber 93.3 y 61.6% para CA con KOH (NK1700) y con  $H_3PO_4$  (NF0.67500), respectivamente, en comparación con una remoción de 7.6% lograda en el carbón comercial M218 (Merck); partiendo de una solución de 500 ppm de fenol, la CA con KOH (NK1700) y con  $H_3PO_4$  (NF0.9500) removida fue de 163.7 y 102.3 mg fenol/g CA, respectivamente.

Ayestas (2006) en su investigación encontró como resultado que la capacidad de adsorción del azul de metileno aumentaba a medida que disminuía el tamaño del carbón y a medida que aumentaba la concentración del activador utilizado, los valores máximos y mínimos encontrados sin el activador fueron 1.19 azul de metileno, para aguano, mientras que fue de 1.18% para cedro y 1.12% para tola. Estos valores en comparación con los carbones producidos con el activador son una diferencia bien conocida.



## 2.2. MARCO TEÓRICO

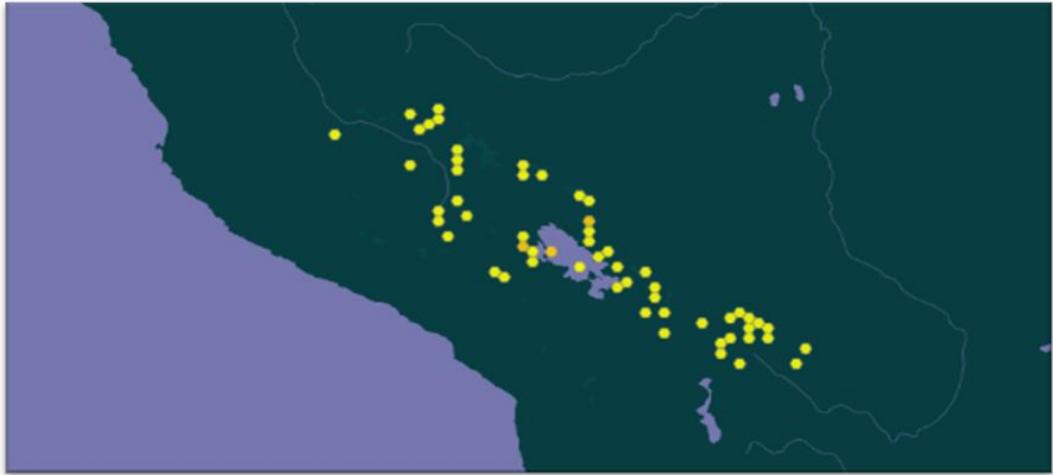
### 2.2.1. Waraqa sancayo

Según Leon (2017) Definió waraqqo como: Echinópsis es el nombre común derivado de echinos, "erizo de mar o erizo", y ophis, "apariencia", en referencia a la densa cubierta de espinas que poseen algunas de estas plantas. Waraqqo (*Echinópsis maximiliana*), a menudo formando pequeños cojines. Los tallos son brotes cilíndricos, globosos o cortos, de color verde, de 25-5 cm de diámetro y hasta 20 cm de altura. Tiene de 12 a 20 costillas rectas, con muescas y nodulares. En personas con lunares blancos y de hasta 2 cm de largo para los nacidos entre 11 y 56 años, pueden faltar espinas en casos raros, son muy variables. Las espinas centrales y radiales son a menudo indistinguibles. Espinas curvas, irregulares, de color marrón amarillento, de 35 cm de largo. Las flores tienen forma de embudo y aparecen en el lado del tallo en los brotes superiores, son rojas con una garganta de color amarillo anaranjado o púrpura, a veces amarillas o rosadas. Las flores miden 10 cm de largo y tienen aproximadamente el mismo diámetro. El fruto es de color rojo verdoso, peludo y de hasta 1,2 cm de diámetro.

### 2.2.2. Distribución del waraqqo

Es endémica de los Andes peruanos, creciendo en las tierras altas de Puno, en pedregales áridos; Crece a una altitud de 3.850 a 100 metros sobre el nivel del mar. Según los agricultores, es una planta silvestre importante para predecir el clima. Presagiando un buen año, esta planta florece en agosto, los agricultores creen que esta planta es sobre todo un indicador del desarrollo de futuros tubérculos, principalmente papas. Cuando las flores de esta planta se destruyen en

ciertos días de invierno, es una señal de mala producción de papa durante el verano.



**Figura 1.** Mapa de ubicación del waraqqo

Fuente: Navarro, G. (1996).

Distribución conocida de *Echinopsis maximiliana* naturalizados en Sudáfrica, basado en los datos del Atlas de invasores de plantas de África austral.

### 2.2.3. Descripción botánica del waraqqo

Nano (2014) “en general, la planta forma colonias, el cuerpo esférico es corto, verde y de 20 cm de largo. de altura y 5 cm. de diámetro, nervadas 12 - 18, espinas 7 - 12, a veces ausentes, muy variables, curvas, desiguales, 3 - 5 cm. flores largas, rojas con garganta amarillo-naranja, cortas, de 3- cm. fruto largo y grueso por dentro, más corto que por fuera, fruto rojo verdoso, redondo, peludo, de 1,2 cm. diámetro”.



**Figura 2.** Waraqqo

Fuente: Navarro, G. (1996).

#### **2.2.4. Clasificación taxonómica del waraqqo**

Heyder et al (1846) “la division taxonómica de la fruta cosechada conocida como Sank'ayu pertenece al siguiente taxón”.

- Subclase: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsidae
- Subclase: Caryophyllida
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Cactaceae
- Género: Echinopsis.
- Especie: Echinopsis maximiliana

#### **2.2.5. Composición química del waraqqo**

Con respecto a la composición química de Echinopsis maximiliana (sank'ayu), la siguiente composición de pulpa se describe solo en fuentes primarias.



Humedad 95,7%; Ceniza 0,38%; aminoácido 1,10%; grasa 0,0; Carbohidratos 2,77% Fibra 0,7%; Calcio 240.47 - 288.40 (ppm); Fósforo 0.0013 - 0.0018 (ppm).

## Usos

Según los agricultores, es una planta silvestre importante para predecir el clima. Presagiando un buen año, esta planta florece en agosto, los agricultores creen que esta planta es sobre todo un indicador del desarrollo de futuros tubérculos, principalmente papas. Cuando las flores de esta planta se destruyen en ciertos días de invierno, es una señal de mala producción de papa durante el verano. No hay investigaciones sobre los otros usos medicinales de esta planta de nopal, sin embargo, la gente de la región suele consumirla para purificarse y con fines laxantes tiene un aroma más fuerte y un sabor más agradable.

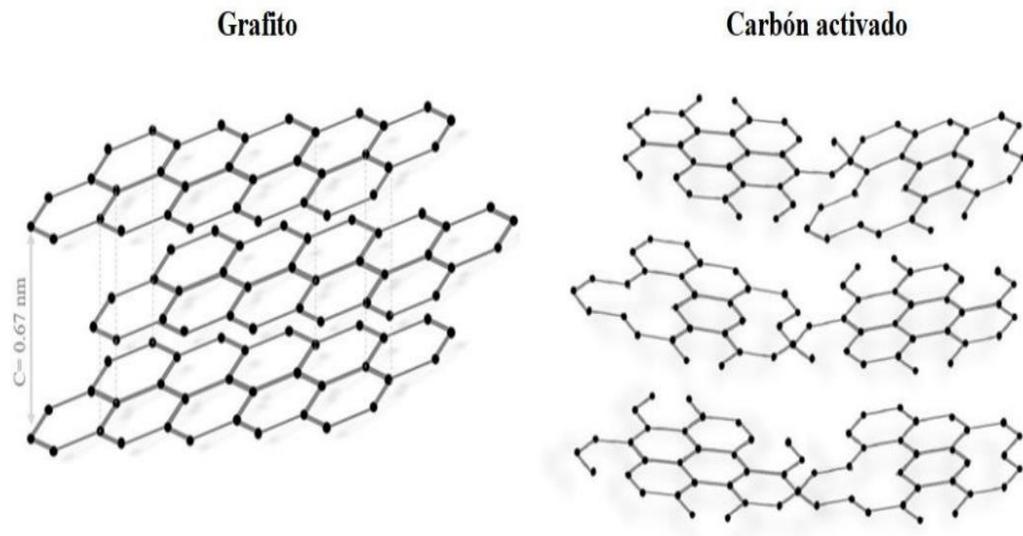
### 2.2.6. Carbón Activado

#### 2.2.6.1. Generalidades del carbón activo

Bastidas, Buelvas, Márquez, Popular, & De (2010) “el carbón activado es un adsorbente elaborado a partir de materiales de carbono que se caracteriza por presentar una alta superficie interna, muchos grupos funcionales y buena distribución de poros, propiedades que le permiten retener una amplia gama de moléculas. La preparación de este material se lleva a cabo mediante procesos físicos o químicos, interacción con gases o la adición de sustancias químicas, respectivamente”.

Ingenier, Polit & Sevilla (2015) “la activación en sí es un proceso completamente independiente de la carbonatación o se lleva a cabo después de ella. Consiste en hacer reaccionar el activador con los átomos de carbono del

carbón activado; de tal forma que se va produciendo una "combustión selectiva" a través del carbón, formando poros y aumentando la porosidad hasta convertirlo en carbón activado".



**Figura 3.** Comparación la estructura del grafito y las capas del carbón activado

Fuente: (Garc, Antonio, & Oporta, 2017)

#### 2.2.6.2. Propiedades

Tao & Lozada (2015) “el carbón activado se refiere a un amplio espectro de materiales que son fundamentalmente diferentes en su estructura interna (distinción de poros y superficies específicos) y sus tamaños de grano. Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activado es prácticamente carbón puro, como el diamante, el grafito, el carbón negro y varios átomos de carbono”.

Ingenier et al (2015) “el carbón activado tiene una estructura microcristalina que recuerda un poco al grafito. Esta estructura que exhibe el carbón activado a menudo da como resultado una distribución de tamaño de poro bien definida. Así, se pueden distinguir tres tipos de poros según sus



radios: poros ( $r > 25$  nm), centrosomas ( $25 > r > 1$  nm) y poros pequeños ( $r < 1$  nm)”

### **2.2.6.3. Métodos de activación**

Ingenier et al (2015.) “la activación del material carbonizado implica el desarrollo de una estructura porosa previamente creada, mediante la adición de oxidantes. La activación se puede lograr por métodos físicos y químicos”.

Ingenier et al (2015) “en ambos procesos, el área superficial específica del carbón activado depende de la pérdida de peso del material en la etapa de activación, alcanzando generalmente un máximo con pérdida de peso del 30 al 70% Ocurrir. El grado de activación determina las propiedades estructurales finales del carbón activado producido”.

### **2.2.6.4. Activación física o térmica.**

Tao & Lozada (2015) la activación física se lleva a cabo en dos etapas, incluida la carbonización de un material con alto contenido de carbono, seguida de la activación de un material formado a alta temperatura en presencia de oxígeno gaseoso. Algunos de los gases utilizados son CO<sub>2</sub>, vapor de agua, aire o una mezcla de estos. El rango típico de temperatura de carbonatación es de 00 a 800 ° C, mientras que el rango de temperatura de activación es de 600 a 900 ° C. El proceso de activación implica "multiplicar" el número de poros en el carbón, creando una estructura. Estructura extremadamente porosa con una gran superficie está disponible para llevar a cabo el proceso de adsorción en las diferentes aplicaciones mencionadas.



Ingenier et al., (2015) define qué; El proceso de activación física se lleva a cabo en dos etapas: carbonización y carbonización por la acción de gases oxidantes como el vapor de agua, dióxido de carbono, aire o una mezcla de los mismos, el oxígeno activo del activador es el encargado de encender la reacción más fuerte. Partes del marco de carbono y alquitrán se retienen en la estructura porosa; y el grado de combustión depende de la naturaleza del gas utilizado y de la temperatura de activación. El bajo rendimiento en la etapa de activación (30%) es característico de este método.

#### **2.2.6.5. Activación química**

Tao & Lozada (2015) indican que el precursor, típicamente un material lignocelulósico como la madera, se impregna con un agente químico, preferiblemente ácido fosfórico (aunque también se puede usar cloruro de zinc), y el material impregnado se calcina en el horno a 500 - 700°C. Los agentes químicos usados reducen la formación de compuestos volátiles y alquitrán, aumentando así la producción de carbono. Los agentes químicos más utilizados son  $\text{Cl}_2\text{Zn}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . El carbón formado se lava a fondo para eliminar los restos del agente químico utilizado en el proceso de impregnación. Alternativamente, estos carbones pueden activarse térmicamente mediante gasificación parcial con dióxido de carbono o vapor para obtener carbón activado con un área superficial alta para aplicaciones como el almacenamiento de gas natural.

Clarimex (2000) afirma que “el segundo método, la activación química, consiste en poner al precursor carbonoso con un agente activador, tras lo cual se lleva a cabo un tratamiento térmico entre 400 y 800 °C bajo una atmósfera inerte para generar porosidad. Los agentes comúnmente utilizados



son: cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ), hidróxido de potasio (KOH), ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y Sulfuro de potasio”.

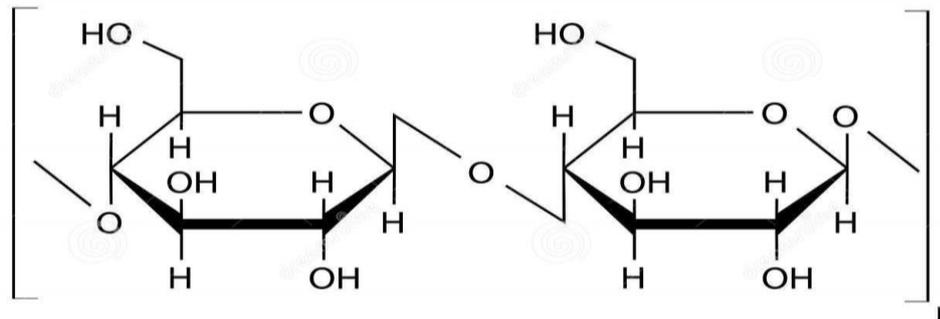
Tao & Lozada (2015) manifiesta que “el proceso se realiza en un solo paso, calentando una mezcla del activador con la materia prima en atmósfera inerte. Sustancias comúnmente utilizadas son: ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), aunque también se utilizan sulfuro de potasio, tiocianato, calcio, cloruro de magnesio, hidróxidos de metales alcalinos y otros. , Siempre dependiendo del material de partida que se utilice y del mayor o menor tamaño de poro de uno u otro que se quiera tomar”.

#### **2.2.7. La Activación química con $H_3PO_4$ :**

Garc, Antonio, & Oporta (2017) señala que “en la activación química con ácido fosfórico, el mecanismo es muy básico, pero se ha trabajado en el análisis químico de la superficie del carbón activado mediante espectroscopía de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR), que compara los espectros producidos por diferentes radicales antes y después de la activación química en Carbón activado”.

Los grupos funcionales de las biopelículas deben tenerse en cuenta para determinar la formación de grupos funcionales tras la activación química, ya que algunas estructuras no se transforman y otras se oxidan, por lo que la estructura de la biopelícula original es:

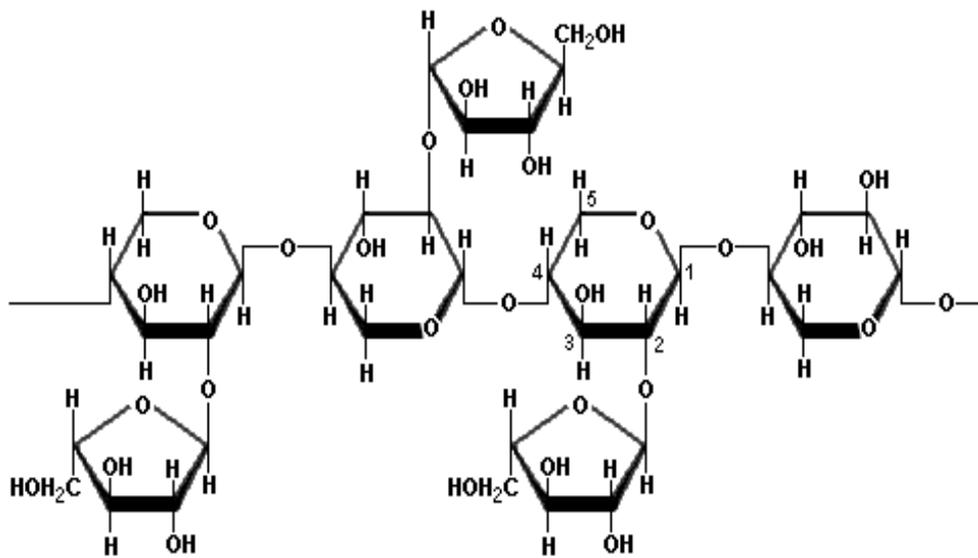
### 2.2.7.1. Celulosa



**Figura 4.** Boceto de la macromolécula de la celulosa

Fuente: (Garc et al., 2017)

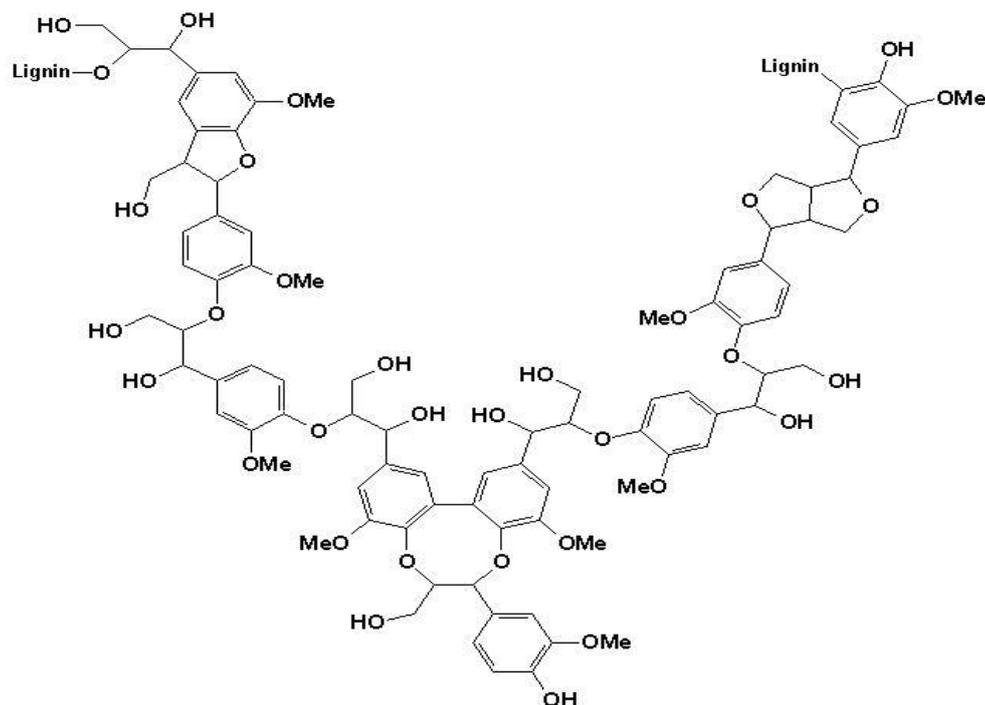
### 2.2.7.2. Hemicelulosa



**Figura 5.** Boceto de la macromolécula de la hemicelulosa

Fuente:(Garc et al., 2017)

### 2.2.7.3. Lignina



**Figura 6.** Boceto de la macromolécula de la lignina

Fuente: (Garc et al., 2017)

Así, Garc et al (2017) según la investigación, el ácido fosfórico tiene un efecto de deshidratación mejorado con el aumento de la concentración. Por lo tanto, cuando el  $H_3PO_4$  entra en contacto con el precursor, hidroliza los enlaces glicosídicos de los biopolímeros (celulosa, hemicelulosa y lignina), acelera la deshidratación y descomposición del material impregnado y genera condiciones para reacciones de condensación aromática entre moléculas vecinas, con la consiguiente crecimiento de productos volátiles en estado gaseoso unión glicosídica de los biopolímeros, acelera la pérdida de agua y la descomposición del material impregnado, y facilita las reacciones de condensación aromática entre moléculas vecinas, con el consiguiente crecimiento de productos volátiles en estado gaseoso.



Garc et al (2017) “los carbones comerciales de bajo contenido en cenizas se preparan bien por lavado ácido o bien por una adecuada selección de la materia prima, entre los que se encuentran los materiales lignocelulósicos, estos lavados se realizan con ácido clorhídrico, ácido fosfórico, esperando a que se disuelvan los componentes inorgánicos contenidos en el material. Y se puede eliminar eliminando compuestos de Na, K, Ca, Mg y Fe”.

#### **2.2.7.4. La activación química con KOH:**

Garc et al (2017) “en esta activación, el KOH se mezcla con el precursor, en suspensión acuosa o por simple mezcla física, en una proporción entre 2:1 y 4:1. Cuando la inmersión se realiza en medio acuoso, la activación se realiza en dos tratamientos térmicos sucesivos en atmósfera inerte. La primera es a baja temperatura, pero por encima de los 200°C (para evaporar agua y dispersar KOH únicamente), la segunda está entre 700 y 900°C”.

Ingenier et al (2015) considera que, a diferencia de los otros dos activadores, los precursores preferidos para la activación con KOH son aquellos con baja volatilidad y alto contenido de carbono, como carbón de alta calidad, coque, coque de petróleo, etc. Durante esta activación, el precursor de KOH se mezcla con él, ya sea en forma de Suspensión acuosa o simple por mezcla física, en una proporción entre 2:1 y 4:1. Cuando la inmersión se realiza en acuoso medio, la activación se realiza en dos tratamientos térmicos consecutivos en atmósfera inerte. La primera es a bajas temperaturas, pero por encima de los 200°C (solo para evaporar el agua y dispersar el KOH), la segunda está entre 700 y 900°C.

### 2.2.8. Tipos de carbones activados

Los carbones activos pueden clasificarse de acuerdo al tamaño de las partículas en dos grupos: CAP y CAG.

**Tabla 1.** *Tipos de carbonos activados*

Carbón activado en polvo (CAP)	Diámetro entre (1.5x10 <sup>4</sup> -2.5x10 <sup>4</sup> )nm
	Tamaño medio de partícula entre 1x 10 <sup>6</sup> -5x10 <sup>6</sup> nm
	Se divide en dos categorías
Carbón activado CAG	1. carbón activado troceado (o sin forma)
	2. Carbón activado conformado (o con una forma específica cilindros. discos)

Fuente: (Garc et al., 2017)

#### 2.2.8.1. Carbón activado pulverizado

Rodríguez (2006) “la determinación de carbón activado en polvo tiene tamaño de partícula de 10 a 200 mesh ASTM, el tamaño no debe ser demasiado pequeño para interferir con otros pasos del proceso, deben ser muy porosos, relativamente suaves y tener poros grandes. Los carbones finamente pulverizados se usan como agentes blanqueadores porque no tienen una estructura definida y se usan principalmente en la fase líquida”.

#### 2.2.8.2. Propiedades fisicoquímicas del carbón

Según las normas nacionales las propiedades físicas y químicas que debe tener el carbón activado, son:

#### 2.2.8.3. Capacidad de adsorción

Garc et al (2017) “en la actualidad, la adsorción se considera como una de las mejores técnicas para eliminar contaminantes y entre los



adsorbentes, el carbón activado (CA) es el más utilizado debido a su excelente capacidad de adsorción de muchos compuestos en él debido a sus propiedades físicas y químicas. Este proceso involucra la unión de moléculas a la superficie de un sólido por la presencia de fuerzas de atracción intermoleculares en lugares específicos del sólido conocidos como sitios activos. El proceso inverso se llama desorción”.

#### **2.2.8.4. Contenido de humedad**

Garc et al (2017) “Se define como la pérdida de masa de agua, asumiendo que es la única sustancia volátil presente en el carbón activado, y se expresa cómo % de la muestra seca en relación con el contenido de humedad original”.

La humedad no afecta la capacidad de adsorción, pero el carbón activado almacenado en condiciones húmedas puede absorber un 25-30% de humedad durante 3-6 meses. El contenido de humedad superficial aumenta a medida que disminuye el tamaño de las partículas de carbón, se recomienda utilizar carbón activado con un contenido de humedad máximo de 8% (Hovanec, 1998).

$$\%Humedad = \frac{Perdida\ de\ peso}{Peso\ de\ la\ muestra} \times 100$$

#### **2.2.8.5. Ceniza/material volátil:**

Son las sustancias que quedan después de calentar el carbón a 650°C, hasta una masa constante, y se expresan en porcentaje sobre base seca. Su cantidad y composición pueden afectar la adsorción y algunas propiedades del carbón activado. Mediante un lavado ácido puede reducir su presencia, que se realiza en caso de que los procesos se vean afectados. A medida que el

contenido de cenizas es menor, su temperatura de ignición aumenta, lo que reduce el riesgo de que esto suceda, ya que las cenizas son óxidos de sodio, potasio y otros metales, que actúan como chispas y provocan la ignición de la capa de carbón saturado (Hovanec, 1998).

$$\%Cenizas = \frac{\text{Peso de la ceniza}(g)}{\text{Peso de la muestra}(g)} \times 100$$

$$\%Material\ volatil = \frac{\text{Peso de componentes volatiles}(g)}{\text{Peso de la muestra seca}(g)} \times 100$$

#### 2.2.8.6. Carbono fijo:

Se utilizó el método estándar para la determinación de cenizas ASTM D1762. Se halla restando 100 a los porcentajes de volátiles y cenizas.

$$\%carbono = 100 - \%materia\ volatil - \%cenizas$$

#### 2.2.8.7. Densidad aparente

Patricio, Torres, Pablo, & Tamaquiza (2020) “se define como el peso (en condiciones específicas) de una unidad de volumen de carbón activado. La densidad aparente del carbón activado es una propiedad que se debe tener en cuenta a la hora de seleccionar el carbón, ya que una densidad alta puede ser beneficiosa, debido a que hay más gramos de carbón en menos espacio, acelerando así el proceso de almacenamiento, así como en el proceso de filtrado”.

Centro, Chaco, Estaci, & Agropecuaria (2012) “el método del cilindro utiliza suelo que se seca al aire, se tritura y se tamiza con una malla de 2 mm, luego se coloca una masa conocida de suelo en un cilindro de 100 ml y, después de una serie de operaciones, se pesa nuevamente.



$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Volumen de la muestra (cm}^3\text{)}}$$

### 2.2.9. Aplicaciones del carbón activo

Ingenier et al., (2015) define que, Entre otros usos, en general, su uso en colillas y suelas de zapatos, entre otros. Generalmente, el carbón en polvo se usa en un medio líquido, mientras que el carbón granular se puede aplicar en ambos medios. Al combinar varias aplicaciones juntas, obtenemos.

- Elimina las impurezas que causan el color, olor y sabor del agua potable (mejora las propiedades organolépticas del agua).
- Tratamiento de aguas residuales
- Tratamiento de aguas en procesos industriales.
- Filtración de aguas subterráneas
- Filtración de aguas de piscinas
- Filtración de aguas residuales tratadas
- Tratamiento de gases.
- Filtración de aire y aire.
- Decoloración de vino, jugo y vinagre.
- filtración de productos de industria alimentaria.
- Desodoriza suelas de calzados.
- Limpiar agua superficial y agua de pozo.
- Eliminar cloro libre en agua potable.

#### 2.2.9.1. Mecanismos de adsorción del carbón activado

Es importante comprender el mecanismo de adsorción porque puede predecir aproximadamente el comportamiento del carbón activado en muchas de las aplicaciones que puede tener.

### 2.2.9.2. Tipos de poros dentro de una partícula de carbón

Tao & Lazo (2015) señala que “el carbón activado tiene una variedad de tamaños de poros que se pueden clasificar según su función en poros de adsorción y transporte. En ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca para crear una atracción más fuerte sobre el adsorbente y retenerlo”.

Según (IUPAC) los poros se clasifican en tres grupos principales

Microporos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dimensiones inferiores a 20Å</li><li>• Realizan la absorción</li><li>• Contribuyen a la mayor parte del área de la superficie interna</li></ul>
Mesoporos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dimensiones entre 20Å y 500Å</li><li>• Realizan el transporte</li></ul>
Macroporos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dimensiones superiores a 500Å</li><li>• Son la vía de entrada al carbón activo</li></ul>

**Figura 7.** Porosidad del carbono

Fuente: (Garc et al., 2017)

Las micropartículas dimensionadas para atrapar moléculas pequeñas corresponden a compuestos más volátiles que el agua, como olores, sabores y muchos solventes. Las micropartículas atrapan moléculas grandes como los colores oscuros o los ácidos húmicos producto de la descomposición de la materia orgánica.

Garc et al (2017) “el carbón activado tiene la propiedad de adherirse o retener en su superficie uno o más componentes, átomos, moléculas, iones disueltos en el líquido y en contacto con él. Este fenómeno se llama adsorción. La



adsorción se encarga de limpiar, desodorizar y decolorar el agua u otros líquidos o gases en contacto con el adsorbente

.

### **2.2.10. Propiedades y condiciones que afectan la adsorción en carbón activado**

Garc et al ( 2017) las condiciones que afectan la adsorción en carbon activado:

Se ve afectado por las diferentes características del carbón y del adsorbente, así como por las condiciones del gas o líquido en el que se produce este fenómeno. Las propiedades que afectan la adsorción son:

- La adsorción aumenta cuando el diámetro del poro domina de una a cinco veces el diámetro del adsorbente.
- Las diferencias en la composición química de la superficie y la ceniza pueden afectar la adsorción, especialmente en la fase líquida.

### **2.2.11. Metales pesados**

Pamela, Ledezma, Pedro, & Revilla (2009) manifiesta que “los metales pesados son sustancias de origen natural con alto peso molecular, ampliamente distribuidas y en muchos casos muy útiles, como el plomo, muy utilizado en tuberías, y el cadmio. Cuando se trata de contaminación, los metales pesados tienen efectos en la salud y afectan varios órganos. Esta sería una definición más o menos general”.

#### **2.2.11.1. Efectos en la salud**

Pamela et al (2009) afirma que “el más importante por su abundancia es el plomo, que se encuentra en las tuberías de plomo, las cuales ya no se



usan y han sido reemplazadas por tuberías de plástico, sin embargo, en muchas instalaciones de la ciudad aún existen tuberías de plomo. Tubería, produce partículas y poco a poco va contaminando, eso es una fuente. Otra fuente es el plomo en la pintura que se usa en artesanías, especialmente en utensilios de cocina, luego al comer y beber, el plomo se escapa de la pintura y entra al cuerpo. La tercera fuente es la gasolina, anteriormente con plomo y ahora eliminada”.

#### **2.2.11.2. Efectos en el ambiente**

Pamela et al., (2009) afirma y “dicen que es bastante grave y específicamente cambia la alcalinidad del suelo, obviamente depende mucho de la concentración. También contaminan el agua y los cultivos. En estas sustancias, si hay demasiado plomo, la planta puede sufrir ciertos cambios, que además degradan el suelo, reducen la productividad del suelo, si la contaminación excesiva puede llevar a la desertificación. En ríos y lagos, también afecta principalmente a la fauna silvestre. El problema de la contaminación ambiental por metales pesados es que sus efectos son silenciosos, no los vemos y cuando nos damos cuenta del daño que causan, es demasiado tarde y sobre todo, son peligrosos para nuestra salud fuerte”.

#### **2.2.12. Arsénico**

Alarcón (2013) manifiesta que “El arsénico (As) es un elemento muy común en la atmósfera, en las rocas y el suelo, en la hidrosfera y la biosfera. Se libera al medio ambiente a través de una combinación de reacciones que incluyen tanto procesos naturales (meteorización, actividad biológica, emisiones volcánicas) como antropogénicos (explotación, uso de combustibles fósiles, etc.) combustibles



fósiles, pesticidas, herbicidas, desecantes, conservantes de la madera, ganado).  
aditivos alimentarios, semiconductores, colorantes, entre muchos otros).

Alarcón, (2013) señalan que “las personas pueden verse principalmente expuestas al arsénico a través de la inhalación, la ingesta de alimentos y el agua. Principalmente en ciertas zonas en las que el agua entra en contacto con minerales que contienen arsénico. Por razones geológicas naturales, en ciertas zonas del mundo el agua que beben algunas poblaciones puede contener más arsénico del habitual”.

#### **2.2.12.1. Arsénico en el agua**

El arsénico está presente en el agua debido a la disolución natural de los minerales de los depósitos geológicos, las aguas residuales industriales y la deposición atmosférica. En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, las especies más comunes son pentavalente o arseniato ( $As+5$ ). En condiciones reductoras, a menudo en sedimentos de lagos o aguas subterráneas, predomina el arsénico o arsenito trivalente ( $As +3$ ).

Alarcón, (2013) considera que los estados de oxidación más presentes en el agua son: trivalente ( $As +3$ ) y divalente ( $As +5$ ) y menos frecuentemente  $As (0)$ ,  $As (-1)$  y  $As (-2)$ . Aunque ambas especies ( $As +3$  y  $As +5$ ) son móviles en el medio ambiente, el arsenito es el estado más inestable y biotóxico. El estado de oxidación del arsénico y, por lo tanto, su movilidad, está esencialmente controlado por las condiciones redox (potencial redox,  $Eh$ ) y el  $pH$ . La principal vía de liberación de arsénico en el medio ambiente es a través del agua.



### 2.2.12.2. Efectos del arsénico sobre la salud

Alarcon (2013) manifiesta que los efectos del arsénico en la salud, el origen de esta enfermedad está relacionado con el consumo de agua con alto contenido de arsénico, además del calor extremo de estas zonas. Estos dos factores predisponen a los adultos de estas zonas a sufrir lesiones irreversibles que les impiden trabajar y, en ocasiones, incluso la muerte. Los primeros síntomas suelen aparecer entre la pubertad y la edad adulta, aunque pueden aparecer en la edad escolar. El curso de la enfermedad se puede dividir en etapas, que pueden ser consecutivas o Superpuestas.

- **Fase hipersecretora:** palmas y plantas escamosas acompañadas de prurito, alteraciones sensoriales y sudoración.: Engrosamiento epidérmico difuso, en áreas ipsolaterales de la palma (callos difusos, cuernos circundantes, raramente cuernos epidérmicos y otras malformaciones que alternan con áreas de piel agrietada, ulcerada y a su vez infectada con infección) acompañada de dolor intenso. Dificultad para realizar tareas manuales e incluso caminar. El cabello se vuelve delgado y quebradizo y se desarrollan lesiones en las uñas.
- **Periodo de melanoma:** comienzan a aparecer manchas en el tronco y se extienden sin afectar las mucosas. Este trastorno puede no estar presente durante el curso de la enfermedad.
- **Etapa tardía:** algunas lesiones cutáneas ulceradas eventualmente se convierten en cáncer. Otros pacientes con cambios crónicos degenerativos e inflamatorios: infección hepática, esclerosis renal, polineuritis con sus secuelas, cardiopatías y diarreas en general, exposición a algún proceso intersticial que lleve a una muerte particular.



### 2.2.13. Mercurio

Mart, (2004) define que el mercurio y su principal mineral, el cinabrio, se conocen y utilizan desde la antigüedad. Durante el desarrollo de sus primeras culturas, pueblos como China, Egipto y Asiria conocieron de la existencia del cinabrio y su aplicación como pintura en forma de bermellón (canela en polvo). Algunas referencias avalan que en China, hacia el 1200 a.C. J.-C., se ha extraído mercurio en minas en Kwichan. Los fenicios, 700 años antes de la era cristiana, usaban mercurio para extraer y refinar el oro. En India, se cree que el mercurio tiene propiedades afrodisíacas y, por lo tanto, se usa en este país. Los Incas también conocían el cinabrio (al que llamaban "Ilampi") y lo usaban como pintura. En Egipto, el mercurio se usó ya en la dinastía faraónica de 1819 (1600-1500 a. C.), como lo demuestra el descubrimiento de mercurio líquido en un recipiente de esa época. Los griegos y los romanos también usaban el cinabrio como pintura (el color bermellón) y algunos de sus médicos más famosos, como Hipócrates, lo usaban como unguento porque no lo consideraban un veneno para la piel.

La mayor parte del mercurio en el medio ambiente (excepto la atmósfera) se encuentra en forma de sales de mercurio inorgánicas y compuestos orgánicos. Este último está determinado por la presencia de un enlace CHg covalente. Por ello, los compuestos de mercurio más usuales en el medio ambiente son: formas inorgánicas de Hg (II)  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{Hg}(\text{OH})_2$  y  $\text{HgS}$ ; compuestos de metilmercurio  $\text{CH}_3\text{HgCl}$  y  $\text{CH}_3\text{HgOH}$ ; y, en menor medida, otros orgánicos como el dimetilmercurio o el fenilmercurio. Los compuestos de mercurio generalmente permanecen en la fase acuosa como moléculas no disociadas, lo que resulta en valores de solubilidad bajos. La mayoría de las sustancias orgánicas son insolubles y no reaccionan con ácidos o bases débiles. Sin embargo, el  $\text{CH}_3\text{HgOH}$  es muy soluble debido a la alta



capacidad del grupo hidroxilo para formar enlaces de hidrógeno. Por otro lado, las especies de mercurio inorgánico tienen un amplio rango de solubilidad. Por ejemplo, el  $\text{HgCl}_2$  es muy soluble en agua, mientras que el  $\text{HgS}$  (Mart, 2004).

### **2.2.13.1. Ciclo del mercurio**

Mart (2004) Se define como ciclo del mercurio, al flujo continuo de mercurio entre la atmósfera, el suelo y el agua. Este ciclo se basa en el comportamiento del Hg en diferentes ambientes, en las reacciones químicas involucradas, así como en sus parámetros de transporte y destino final. En cualquier momento dado en la Tierra, la cantidad de mercurio disponible será una función de:

- El ciclo mundial natural.
- El ciclo global interrumpido por la actividad humana.
- Fuentes regionales de mercurio.
- Fuentes locales de mercurio.

Mart (2004) describe que “para dar valores cuantitativos a este ciclo, es necesario conocer la cantidad de mercurio presente en las distintas reservas terrestres. Hasta la fecha, se estima que los océanos son los mayores reservorios de mercurio, con alrededor de 1017 g de mercurio principalmente en forma de  $\text{HgS}$ . El agua de mar contendrá alrededor de 1013 g, equivalente a la cantidad de suelo y sedimento combinados; la biosfera, principalmente en forma de biota terrestre, contendrá 1011 g; 108 g de atmósfera y 107 g de agua terrestre. En este balance, sin embargo, se excluiría el mercurio contenido en las minas y otras reservas subterráneas”.

Mart (2004) considera que, igualmente, es necesario aportar datos acerca de la presencia antropogénica de mercurio en el medio ambiente.



Debido a la gran movilidad del mercurio dentro de su ciclo, esta cuantificación se hace especialmente difícil. Desde la comunidad científica se arrojan una gran cantidad de datos, muchos de ellos no demasiado coincidentes entre sí. Estudios recientes indican por ejemplo que de las aproximadamente 200.000 toneladas de mercurio emitidas a la atmósfera desde 1890, aproximadamente el 95% se encuentran en suelos terrestres, alrededor de un 3% en aguas oceánicas y un 2% en la atmósfera. También se estima que entre el 40 y el 75% del mercurio atmosférico actual tiene como origen fuentes antropogénicas.

### **2.2.13.2. Mercurio en aguas terrestres**

Mart (2004) menciona “hay varias rutas por las cuales el mercurio puede ingresar a las aguas terrestres. El mercurio (II) y el metilmercurio pueden depositarse directamente desde la atmósfera por medios húmedos o secos en las aguas terrestres; El Hg (II) y el metilmercurio también pueden introducirse en las aguas subterráneas por acción de la lluvia (complejo de Hg con suspensión de suelo/humus o DOC); Por otro lado, la lixiviación y lixiviación de mercurio del suelo a las aguas subterráneas se puede realizar a partir de corrientes de agua subterráneas. Aunque los coeficientes de partición de sedimento o suelo sobre agua,  $K_d$ , son claramente favorables para la persistencia de Hg en la fase sólida (respectivamente  $10^4$ ,  $10^3$  y  $>10^3$  para sedimentos, suelos y materiales en suspensión, respectivamente), algunos de este Hg (II) entrará en el sistema acuático, especialmente si hay niveles altos”



#### **2.2.14. Agua residual**

Para ONU (2017) define que la mayoría de las actividades antropogénicas que utilizan agua generan aguas residuales. A medida que aumenta la demanda mundial de agua, la cantidad de aguas residuales generadas y sus niveles de contaminación continúan aumentando en todo el mundo. En todos los países desarrollados, la mayoría de las aguas residuales se vierten directamente al medio ambiente sin un tratamiento adecuado. Esto tiene impactos negativos en la salud humana, la productividad económica, la calidad ambiental, los recursos de agua dulce y los ecosistemas. Si bien las aguas residuales son una parte importante de la gestión del ciclo del agua, una vez que se ha utilizado el agua, a menudo se la considera una carga que debe tratarse o una molestia que no se puede ignorar. Las consecuencias de esta indiferencia son ahora evidentes. Sus efectos inmediatos, incluido el declive de los ecosistemas acuáticos y las enfermedades transmitidas por el agua causadas por el agua dulce contaminada, tienen efectos a largo plazo en los medios de subsistencia de las comunidades y las personas. Si continuamos ignorando las aguas residuales como un problema social y ambiental, socavaremos otros esfuerzos en la consecución de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

#### **2.2.15. Efectos del mercurio sobre la salud**

Mart (2004) considera que, la inhalación permanente de vapores de mercurio puede dar lugar a dolores de pecho, disnea (dificultad en la respiración), hemoptisis (expulsión de sangre por los pulmones) y en algunas ocasiones neumonitis intersticial que puede dar lugar a la muerte. La ingestión de compuestos mercurícos, en particular de cloruro de mercurio, puede causar gastroenteritis ulcerosa y necrosis tubular aguda causando la muerte por anuria (ausencia de



micción) en caso de no realizarse diálisis. El sistema central nervioso es el órgano crítico en la exposición a vapores de mercurio. La exposición aguda da lugar a reacciones psicóticas caracterizadas por delirios, alucinaciones y tendencias suicidas.

### **2.2.16. La Minería**

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Casi desde el principio de la edad de piedra, hace 2.5 millones de años o más, ha venido siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Puede decirse que la minería surgió cuando los predecesores de los seres humanos empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. Al principio la minería implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria de desenterrar el sílex u otras rocas considerado por (Zegarra, 2008). Los materiales empleados por la sociedad moderna han sido obtenidos mediante minería, o necesitan productos mineros para su fabricación. Incluso las otras actividades del sector primario; agricultura, pesca y silvicultura, no podrían llevarse a cabo sin herramientas y máquinas fabricadas con los productos de las minas. Cabe argumentar que la minería es la industria más elemental de la civilización humana, como también es la que genera mayores impactos negativos al ambiente afirmado por (Kuramoto, 2004).

#### **2.2.16.1. La minería informal en el Perú**

En el Perú la extracción ilegal de minerales es una actividad económica que consiste en la explotación de minerales metálicos como el (oro, plata, cobre, etc.) y no metálicos (arcilla, mármoles, entre otros), sin



control ni regulación social y fiscalización ambiental de parte del estado peruano (Gestión, 2009).

Lo informal de esta actividad conduce a la ilegalidad, desarrollándose en distintos niveles: mediana minería, minería a pequeña escala y minería artesanal. Las personas dedicadas a esta actividad tienen un bajo nivel de instrucción y realizan la extracción de manera individual o en grupos. Además de que la Minería Ilegal en el Perú tiene repercusión para el sector minero y el país, lo que indica que esta situación desintegra el proceso productivo, lo que dificulta la explotación sostenible del recurso y el manejo ambiental adecuado (Medina et al., 2007).

Según Antonio Brack, biólogo, ecologista, investigador peruano, la ilegalidad de esta actividad reside en la falta de estudios de impacto ambiental (Gestión, 2009). Señala que la minería ilegal ocasiona severos impactos sobre la salud de las poblaciones vecinas por diversas formas de envenenamiento (a través del agua, suelo y del aire). Las consecuencias que la minería informal genera son: la contaminación y las alteraciones en la calidad del agua (acidificación, sedimentación), la pérdida de biodiversidad, especialmente hidrobiológica y ribereña (SNMPE, 2008).

#### **2.2.16.2. Causas de la minería ilegal**

La minería ilegal ocurre a consecuencia de problemas sociales y económicos. La Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, indicó que la expansión de esta actividad registrada en los últimos años, ha sido alentada por la falta de empleo en el área rural, el elevado precio de los metales y porque las organizaciones o grupos que están detrás de esta actividad, que



aprovechan la ausencia del estado para actuar al margen de la ley (Kuramoto et al., 2004).

### **2.2.16.3. Utilización del Mercurio en los Procesos Mineros**

Valencia (2010) sostiene que la amalgamación es uno de los procesos más importantes en la recuperación de oro en la minería de los metales preciosos, dada la afinidad electrónica del oro con el mercurio forma una aleación física denominada amalgama. Esta propiedad es la utilizada para capturar pequeñas partículas de oro, las cuales por su tamaño no presentan buena respuesta para la concentración gravimétrica, sin el mercurio las partículas extremadamente finas o con formas laminares serían arrastradas por las corrientes de agua creadas en el lavado, produciendo desperdicios de metal y disminuyendo considerablemente el rendimiento de las minas. Para la amalgamación es importante que el grano de oro se encuentre libre y limpio de incrustaciones de óxidos y minerales y que su tamaño oscile entre 2 y 0,02 milímetros.

### **2.2.17. Comportamiento del Mercurio en los Ambientes Acuáticos**

Valencia (2010) señala que las formas naturales predominantes del mercurio en el medio ambiente son el mercurio elemental ( $Hg_0$ ) y el ión mercúrico ( $Hg_{+2}$ ), adicionalmente el sulfuro de mercurio ( $HgS$ ), presente por lo general en suelos y sedimentos anaeróbicos. Cuando el mercurio de origen minero (antropogénico) alcanza los sedimentos del fondo en aguas naturales, es sometido a los siguientes mecanismos: - Adsorción en el óxido férrico hidratado.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La mina la Rinconada se encuentra bajo la jurisdicción del Departamento de Puno, la Provincia de San Antonio de Putina, el Distrito de Ananea y el Paraje La Rinconada.

Están ubicados en el extremo sureste del Perú, al noreste de la región de Puno, en el extremo sur de la cordillera oriental de los Andes, en la Cordillera de Carabaya en la parte nororiental de la Meseta del Collao.

Las minas La Rinconada se ubican geográficamente en las siguientes coordenadas UTM. (sistema WGS 84).

**Tabla 2.** *Coordenadas UTM Mina La Rinconada*

Coordenadas UTM	
Este	452 205
Norte	8 383 034
Altitud	5100 m.s.n.m.

#### 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue cuantitativa ya que incluye la recolección y análisis de datos numéricos. Este método es ideal para determinar tendencias y valores medios, hacer predicciones, verificar relaciones y obtener resultados generales.

Rodrigo (2015) “en la investigación de enfoque cuantitativo, el estudioso utiliza una o más variables de investigación para comprobar el aumento o la disminución de estas variables y su resultado en los comportamientos observados.



### **3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de la investigación fue experimental, según Rodríguez (2005), se presenta controlando una variable para que pueda describir cómo o por qué se origina una situación o un evento. En el estudio, se aplicaron diferentes tipos y cantidades de biocarbón para evaluar el efecto de inmovilización del mercurio y el arsénico en las aguas residuales de la mina; Por lo tanto, se utilizaron diferentes técnicas y herramientas para recopilar datos, relacionar variables y responder preguntas.

En otras palabras, el experimento consiste en alterar el valor de una variable (biocarbon) y observar su consecuencia en otra variable (eliminación de arsénico y mercurio) Se aplicarán estadísticas de referencia para comprobar la hipótesis”

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1. Población**

La población de este trabajo de investigación serán las aguas residuales generadas por la actividad minera en la Rinconada-Puno. Fachelli (2015) “universo o Población son palabras equivalentes para referirse al conjunto total de elementos que constituyen el ámbito de interés analítico y sobre el que queremos inferir las conclusiones de nuestro análisis, conclusiones de naturaleza estadística y del mismo modo sustantivas o teóricas”.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra está representada por un punto de monitoreo en la mina Rinconada. En este trabajo se tomó 1 muestra para realizar la valoración teniendo en cuenta una muestra de 15 litros. Fachelli (2015) “una muestra estadística es una porción o un subconjunto de unidades representativas de una población o universo,



seleccionadas al azar y sujetas a observación científica con el fin de obtener resultados válidos para el total del universo estudiado, dentro de los límites de error y probabilidad que puedan ser determinado en cada caso”.

### **3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.5.1. Técnica**

La técnica que se utilizó en la investigación fue la observación directa, con base en Fachelli (2015) “La técnica de investigación científica es un procedimiento típico, confirmado por la práctica, orientado en general y no exclusivamente, hacia la recopilación y transformación de información útil para resolver problemas intelectuales en el campo de la ciencia”.

#### **3.5.2. Instrumento**

Mecanismo utilizado por el investigador para recolectar y registrar información: formularios, pruebas, cuestionarios, medida de opinión y listas de verificación. La herramienta utilizada es el cuaderno de campo porque permite obtener los datos necesarios para realizar los cálculos correspondientes.

#### **3.5.3. Materiales**

- Martillos
- Balanza
- Vasos de precipitados: 250 y 500 ml
- Matraces Erlenmeyer: 100 y 500 ml
- Probeta: 25 ml
- Crisoles
- Piseta



- Mortero de porcelana.
- Varillas de vidrio.
- Papel filtro Whatman N° 42.

#### **3.5.4. Equipos**

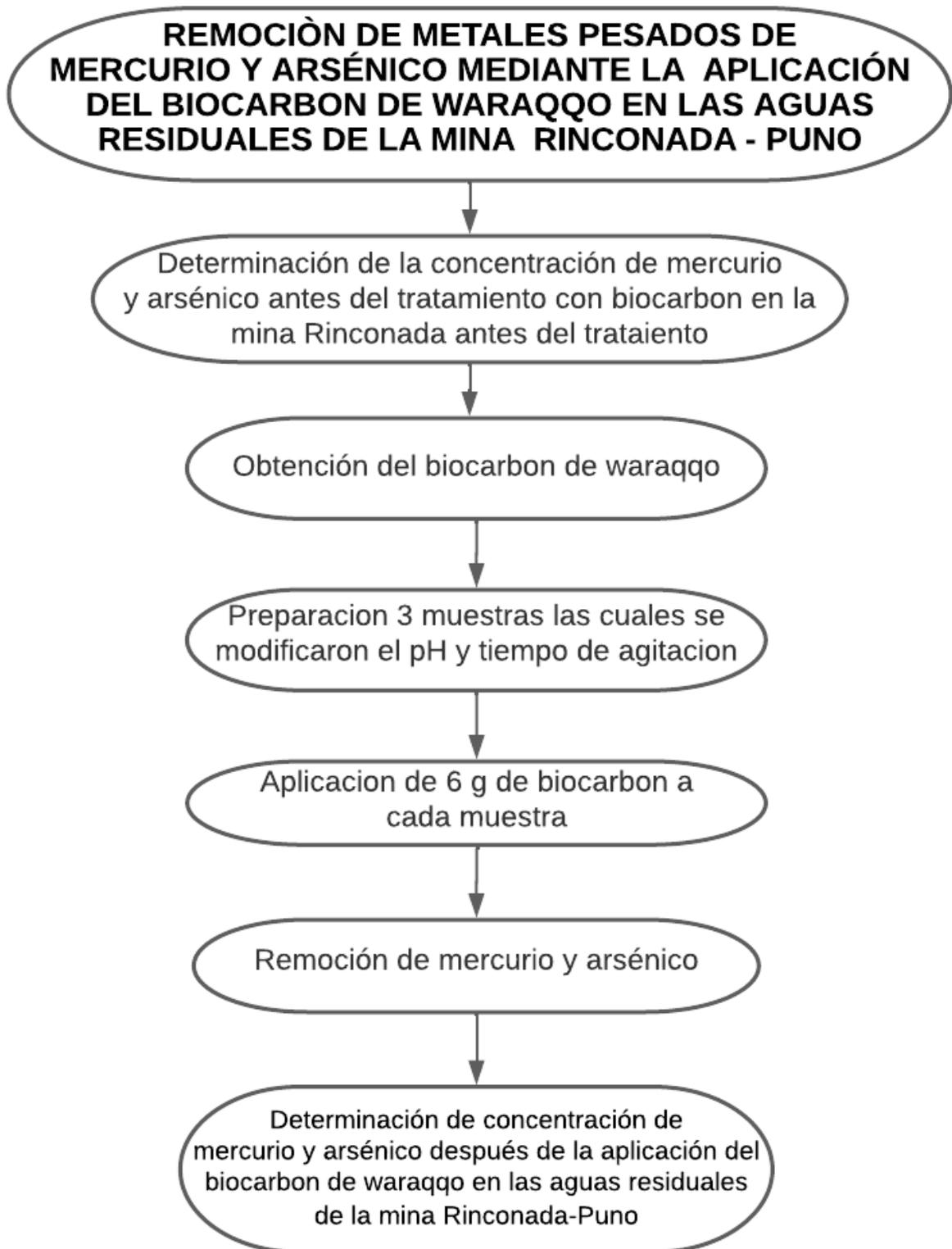
- Balanza analítica METTLER TOLEDO
- Juego de tamices (Escala Tyler).
- Horno
- Agitador magnético STIRRER RPM
- Equipo de absorción atómica
- Multiparámetro HI98194.

#### **3.5.5. Reactivos:**

- Waraqqo
- Ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ )
- Cloruro férrico ( $Fe Cl_3$ )
- Agua destilada.

### **3.6. PROCEDIMIENTO**

Diagrama de flujo de la remoción de mercurio y arsénico en las aguas residuales de la Mina Rinconada.



**Figura 8.** Diagrama de flujo para la remoción de mercurio y arsénico

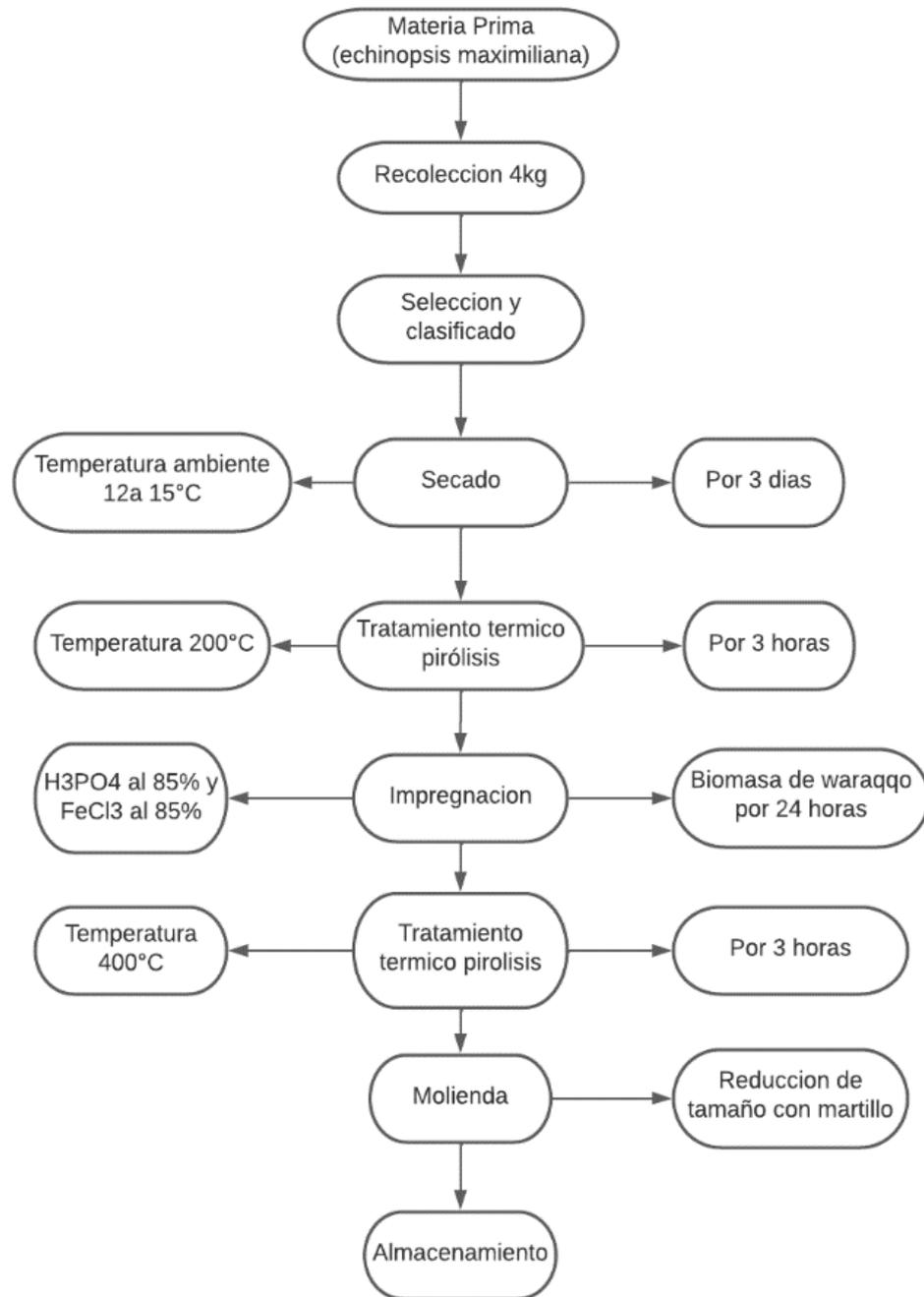


### **3.6.1. Determinación de la concentración del mercurio y arsénico antes del tratamiento con biocarbon de waraqgo.**

Digesa (2018) señala que para la realización de este trabajo se obtendrá la muestra en un tinaco en la cual se encuentra el agua subterránea.

#### Consideraciones generales

- Asegure un cordón de nylon de muestro por medio del sujetador situado en un extremo del cable.
- Si fuera necesario, puede añadir otro pedazo de cordel o soguilla al cable para alcanzar el nivel de agua deseado.
- Tener mucho cuidado de no perder el frasco de muestreo al realizar esta operación.
- Colocar el frasco de muestro en el pozo o reservorio teniendo cuidado de no rozarlo contra las paredes de la estructura.
- Permita que el frasco de muestreo se sumerja alrededor 30 cm.
- Retire el frasco de muestro del pozo con cuidado.
- Llevarlo analizar con conservante si corresponda.



**Figura 9.** Diagrama de flujo para la elaboración de carbón activado

### 3.6.2. Elaboración de carbón activado

La biomasa de waraqqo será secada, molida y tamizada, obteniéndose hojuelas que varían en tamaño de 1,70 a 0,25 mm carbonizándola a 300°C. La elaboración de carbón activado se realizó con dos activadores diferentes (ácido



fosfórico y cloruro férrico), debido a la diferente naturaleza de los contaminantes (mercurio y arsénico). El material, después de ser impregnado con diversos activadores, se secó y se llevó a 400 °C durante 3 h, luego se enfrió, pesó y almacenó.

### 3.6.3. Obtención de carbón activado para la remoción de mercurio:

#### - **Proceso de activación con $H_3PO_4$ :**

Barreto (2013) indica que “el precursor limpio se pesó y se impregnó con  $H_3PO_4$  al 85% a razón de gramos de activador/gramo de precursor (1,00), luego de mezclar se adicionaron 100mL de agua desionizada, para exponer por 2 h, luego cocido en un horno sin aire a 300; °C durante 1 hora, se enfrió, luego se trituró en malla #80, seguido se almacenó en una botella de plástico, lista para usarse como adsorbente para la eliminación de mercurio de soluciones acuosas”.

#### - **Obtención de carbón activado para remoción de arsénico**

Las pruebas realizadas en carbón activado impregnado con óxido de hierro para adsorber arsénico del agua contaminada, indicaron que el arsénico iónico fue adsorbido dentro del carbón activado, atraído por las fuerzas quelantes de un encapsulado de óxido metálico compuesto dentro de los vacíos por impregnación., donde la interacción hierro-óxido de arsénico tiene lugar en el interior de la matriz.

#### - **Proceso de activación con $FeCl_3$**

Se pesó el precursor limpio y se impregnó con  $FeCl_3$  al 85% según la relación gramos de activador/gramo de precursor (0,10), luego de mezclar se



adicionó 100mL de agua desionizada, dejándose expuesto por 2 h, luego se calcina en un horno anóxico a 300 °C durante 1 h, luego se enfrió. Luego se muele en una malla #80, se almacena en una botella de plástico, lista para usarse como adsorbente para eliminar el arsénico de las soluciones acuosas.

- **Caracterización de la materia prima**

- Humedad:

$$\%Humedad = \frac{Perdida\ de\ peso(g)}{Peso\ de\ la\ Muestra(g)} \times 100$$

- Ceniza/material volátil:

$$\%cenizas = \frac{Peso\ de\ ceniza(g)}{Peso\ de\ la\ Muestra\ seca(g)} \times 100$$

$$\%Material\ Volatil = \frac{Peso\ de\ componentes\ Volatiles(g)}{Peso\ de\ la\ Muestra\ seca(g)} \times 100$$

- Carbono fijo:

$$\%carbono = 100 - \%Material\ Volatil - \%Cenizas$$

- Densidad aparente:

$$Densidad\ Aparente = \frac{Peso\ de\ muestra(g)}{Volumen\ de\ la\ Muestra\ seca(cm^3)}$$

- Rendimiento de carbón activado obtenido.



Se determina por la diferencia de peso entre el precursor y el carbón obtenido tras la carbonización.

$$\%Rendimiento = \frac{W_s}{W_e} \times 100$$

### 3.6.4. Preparación de tres muestras a diferentes pH y tiempo de agitación

**Tabla 3.** *Muestras para la remoción del Arsénico*

Numero de muestras	pH	Tiempo de agitación (min)
M <sub>1</sub> Arsenico	10	20
M <sub>2</sub> arsenico	12	80
M <sub>3</sub> arsenico	5	100

**Tabla 4.** *Muestras para la remoción del mercurio*

Numero de muestras	pH	Tiempo de agitación (min)
M <sub>1</sub> mercurio	10	20
M <sub>2</sub> mercurio	13	80
M <sub>3</sub> mercurio	5	100

### 3.6.5. Determinación de la concentración del mercurio y arsénico después del tratamiento con biocarbon de waraqqo.

Después de realizar los tratamientos mencionados anteriormente se procede a llevar al laboratorio para su análisis por el método de absorción atómica en donde se determinará la nueva concentración de mercurio y arsénico después de tratamiento con biocarbon, posterior a ello se determinará la capacidad de remoción y el rendimiento del biocarbon obtenido.



$$\%Rendimiento = \frac{W_s}{W_e} \times 100$$

Donde:

- $W_e$ =peso de bioadsorbente antes de la carbonización
- $W_s$ =peso del carbón obtenido
- $\%R$ =porcentaje de rendimiento

### 3.6.6. Capacidad de remoción de mercurio y arsénico

Se va a tomar una muestra del precursor y se evaluará la capacidad de remoción del mercurio y arsénico.

$$qc = \frac{C_0 - C_f}{M} V$$

Donde:

- $qc$ : Capacidad de adsorción en mg de As
- $C_0$ : Concentración inicial en mg /L
- $C_f$ : Concentración final
- $V$ : Volumen de la muestra en L
- $M$ : masa de consumo del adsorbente que usó.

### 3.6.7. Determinación del porcentaje de remoción:

$$\%Remocion = \frac{C_0 - C_f}{C_0} 100$$

Donde:

- $C_0$ : Concentración inicial en mg /L
- $C_f$ : Concentración final
- $\%R$ : Porcentaje de remoción

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADO PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO

Determinar la concentración de mercurio y arsénico antes de la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada-Puno.

La muestra compuesta del agua residual de la mina Rinconada presenta las siguientes características físico-químicas, según tabla:

**Tabla 5.** *Caracterización de las aguas residuales de la mina Rinconada*

Parámetros	Unid.	Valores obtenidos	D.S.0-31-2010- S.A. LMP
PH	pH	3,5	6,5-8,5
Conductividad eléctrica	micro S/cm	3240	1500
Solidos totales disueltos	mg/l	1630	500
Temperatura	°C	11	
Concentración de mercurio	mg/l	11,875	0,001
Concentración de arsénico	mg/l	11,007	0,01

En la tabla 5 podemos visualizar los parámetros fisicoquímicos encontrados en las aguas residuales de la Mina Rinconada el cual refleja que los valores obtenidos sobrepasan a los límites máximos permisibles D.S.O-31-2010-S.A.LMP comprobando así nuestra hipótesis.

Se observan los parámetros fisicoquímicos del agua residual de la mina Rinconada, tiene un pH alto, los sólidos totales disueltos están por encima del nivel permisible, destacando los valores de conductividad que ya indican la presencia de metales pesados.



#### 4.1.1. Elaboración del carbón activado

Después de haber secado la materia prima por 3 días se sometió a pirólisis 4 kg de biomasa de waraqqo a una temperatura de 300°C quedando finalmente 90g del total luego se separaron en dos partes para la posterior activación con los dos agentes impregnantes.

Se usaron 50 g de biomasa de waraqqo para la activación con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 85% y 40g para la activación con FeCl<sub>3</sub> al 85%, en ambos casos se llevó a 400°C posterior a ello se utilizó un martillo para reducir el tamaño. El rendimiento obtenido para el carbón activado es del 10%.

#### 4.1.2. Tratamiento de la materia prima

Waraqqo se cosecha en áreas áridas de Capachica y luego se seco al sol durante tres días para obtener un contenido de agua relativamente bajo. La molienda se realizó con martillo para obtener reducir el tamaño de partícula.

#### 4.1.3. Análisis químico proximal

En la siguiente tabla presenta los resultados de las propiedades fisicoquímicas.

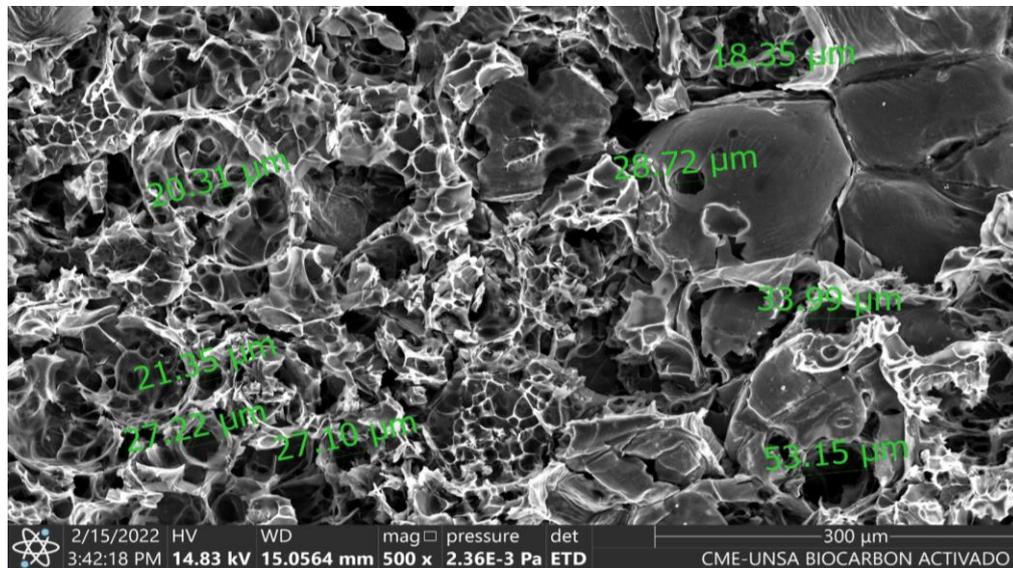
**Tabla 6.** Análisis químico proximal del biocarbon de waraqqo

Determinaciones	Resultado
Carbono %	40,43
Nitrógeno %	0,25
Volátiles%	69,71
Relación C/N %	161,72

El resultado del análisis de la biomasa de waraqqo tiene un contenido de carbono del 40,43%; nitrógeno 0,25% y cenizas de 69,71%.

Por lo tanto, las materias primas utilizadas en este estudio son buenas candidatas como precursores para la adquisición de carbón activado.

**Tabla 7.** *Análisis químico de porosidad del biocarbon*



**Figura 10.** Análisis de espectroscopia de barrido electrónica del biocarbon

En la figura 10 presenta el análisis de la morfología de los carbones activados mediante un microscopio electrónico de barrido realizada al biocarbon de waraqqo indicando en cuyo resultado el diámetro de su porosidad que oscila entre 21,3 micrómetros a 53.15 micrómetros según la bibliografía son microporos el cual comprobaría la eficacia al momento de remover metales pesados.

La adsorción aumentó cuando el diámetro de los agujeros dominantes fue de 1 a 5 veces mayor que el diámetro del adsorbente. Los poros grandes atrapan moléculas grandes como colores oscuros o ácidos húmicos producidos por la descomposición de la materia orgánica (García y Garrillo 2016).

El carbón activado se estructura en capas, dejando espacios correspondientes a los vacíos. Esta estructura de carbón activado, que consiste en un conjunto irregular de capas de carbón con vacíos creados por los poros creados

por el plegamiento de las capas, es lo que da lugar a la porosidad (Castro, Flores y Martínez 2009).

#### 4.1.4. Características de la materia prima

**Tabla 8.** *Características de la materia prima.*

%	%	%	%	Densidad aparente
Humedad	Ceniza	Volátil	Carbono fijo	(g/cm <sup>3</sup> )
8,6 %	5,1%	69,1%	25,8%	0,6

La tabla 8 muestra el contenido de cenizas de 5,1% resultante en la investigación en comparación con Rojas (2018) quien reporta en su trabajo 5,12 cenizas en carbón activado a partir de residuos orgánicos de *Gypsophila elegans*,

El contenido de cenizas es un parámetro importante porque, por un lado, está relacionado con la disolución de estas sales durante el uso del carbón activado, creando así problemas de contaminación en la corriente a tratar; y por otro lado determina la calidad de los precursores en la combustión determinando el contenido de material no combustible presente, buscando así un bajo contenido en cenizas.

Sin embargo, la materia volátil para la biomasa de waraqqo fue de 69,1 %, la cual se encuentra dentro del rango permisible para Canales et al (2018) obtuvo 79,8 % para cebada 84% para mazorca, por otro lado, Barreto (2013) obtuvo un contenido de humedad de 7,8 %; y porcentaje en volátiles 68,93%.

La materia volátil es en si el responsable de los agujeros presentes en la estructura de los materiales de carbono, ya que después de ser sometidos a altas temperaturas, los volátiles se separan, dejando un vacío en su lugar. Por lo tanto, el contenido de materia volátil es otro parámetro importante ya que proporciona una

indicación de la reactividad e inflamabilidad de una sustancia orgánica (Canales et al., 2018).

El contenido de carbono fijo es de 25,8%, lo que indica que la oxidación es más eficiente que el proceso térmico que produce más carbono. El carbón fijo no se considera un indicador para evaluar su calidad adsorbente.

La densidad del carbón activado es de 0,6 g/cm<sup>3</sup>, lo que indica la formación de una estructura porosa debido a la activación química y la carbonización.

#### 4.2. RESULTADO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO

Determinar la concentración de mercurio y arsénico después de la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada-Puno.

**Tabla 9.** *Concentración final después del tratamiento para el mercurio*

Tiempo de agitación	pH	Cantidad de biocarbon	C <sub>0</sub> mg/l	C <sub>f</sub> mg/l
20 minutos	10	6g	11,875	5,625
80 minutos	13	6g	11,875	6,250
100 minutos	5	6g	11,875	4,375

En la tabla 9 se presenta las concentraciones finales de mercurio después del tratamiento con biocarbon para cada tiempo de agitación y pH donde la menor concentración obtenida fue 4,375mg/l para un pH de 5 y 100 minutos de tiempo de agitación usando 6g de biocarbon.

**Tabla 10.** *Concentración final después del tratamiento para el arsénico*

<b>Tiempo de agitación</b>	<b>pH</b>	<b>Cantidad de biocarbon</b>	<b>C<sub>0</sub> mg/l</b>	<b>C<sub>f</sub> mg/l</b>
20 minutos	10	6g	11,007	0,935
80 minutos	12	6g	11,007	0,863
100 minutos	5	6g	11,007	0,719

En la tabla 10 se presenta las concentraciones finales de arsénico después del tratamiento con biocarbon para cada tiempo de agitación y pH donde la menor concentración obtenida fue 0,719mg/l para un pH de 5 y 100 minutos de tiempo de agitación usando 6g de biocarbon.

#### **4.3. RESULTADOS SEGÚN EL OBJETIVO GENERAL**

Determinar el porcentaje de remoción de mercurio y arsénico mediante la aplicación del biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de la mina Rinconada – Puno.

##### **4.3.1. Capacidad de remoción de mercurio por el carbón activado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**

Se usaron muestras de aguas residuales de la mina Rinconada para pruebas de adsorción y evaluación de carbón activado hecho de biomasa waraqqo. Los resultados de las pruebas de adsorción se presentan en la tabla.

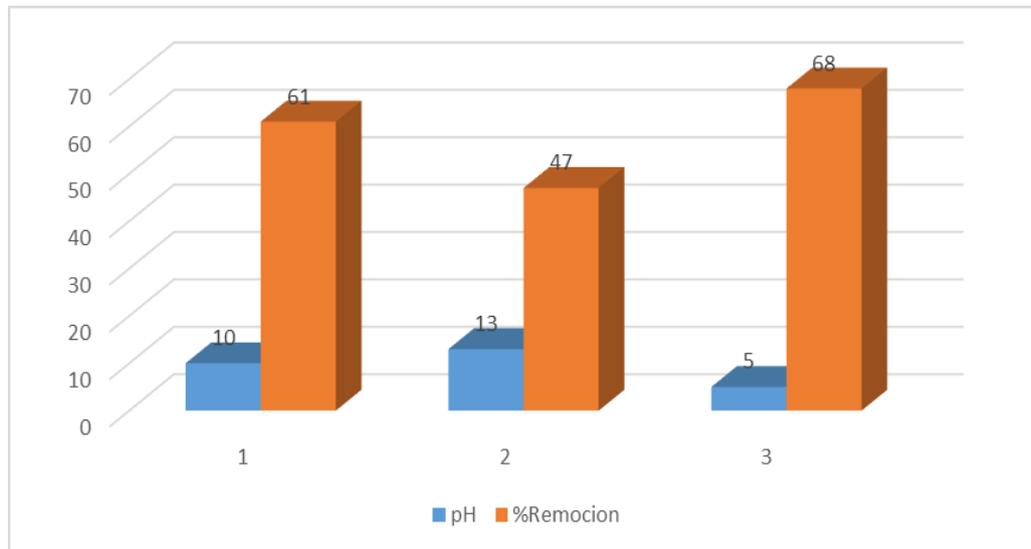
**Tabla 11.** *Capacidad y remoción del Mercurio*

<b>Carbón activado</b>	<b>C<sub>0</sub> mg/l</b>	<b>C<sub>f</sub> mg/l</b>	<b>capacidad de remoción</b>	<b>% de remoción</b>
Biomasa de waraqqo	11,875	4,375	62,5%	68%

### 4.3.2. Efecto del tiempo de agitación y pH

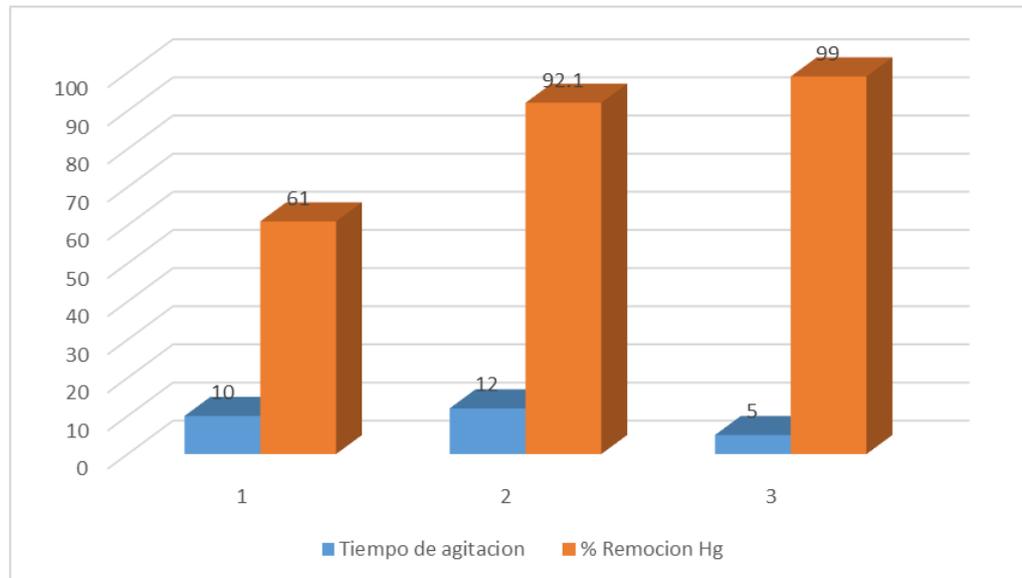
**Tabla 12.** Remoción de mercurio a diferentes tiempos y pH con biocarbon

Tiempo (min)	Ph	C <sub>0</sub> mg/	C <sub>f</sub> mg/l	Capacidad de remoción	Porcentaje de remoción
20	10	11,875	5,625	52%	61%
80	13	11,875	6,250	46,8%	47%
100	5	11,875	4,375	62,5%	68%



**Figura 11.** Efecto del pH en el % de remoción de mercurio

La figura 11 muestra que a medida que aumenta el pH ácido, el mercurio se reducirá, con una tasa de eliminación del 68%. La reducción es máxima en el rango de pH 5. El aumento en la reducción de Hg para valores de pH bajos se debe a una disminución en la competencia entre los protones y los iones metálicos por los sitios de la superficie y una disminución en la carga positiva en la superficie.



**Figura 12.** Efecto de tiempo de agitación en el % de remoción mercurio

La figura 12 muestra que al aumentar el tiempo de agitación aumenta la cantidad de mercurio removido, luego de 100 minutos el carbón activado se satura con iones Hg con una tasa de remoción del 68%, pasado este lapso la remoción ya no es significativa. Lo que demuestra que se ha alcanzado un equilibrio, donde la tasa de adsorción es igual a la tasa de desorción; por lo tanto, la mayor parte del metal en solución se adsorbe en la superficie del carbón activado.

#### 4.3.3. Regresión simple - %remoción de mercurio vs. pH

- Variable dependiente: %Remoción de mercurio
- Variable independiente: pH
- Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

**Tabla 13.** Regresión simple %remoción de mercurio vs pH

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	82,0	8,57321	9,56467	0,0663
Pendiente	-2,5	0,866025	-	0,2123
			2,88675	

**Tabla 14.** *Análisis de varianza %Remoción de mercurio*

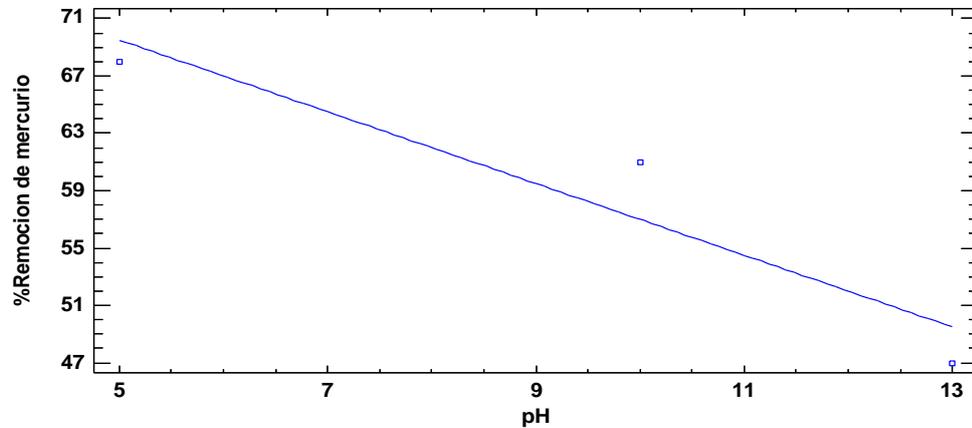
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Modelo	204,167	1	204,167	8,33	0,2123
Residuo	24,5	1	24,5		
Total	228,667	2			
(Corr.)					

- Coeficiente de Correlación = -0,944911
- R-cuadrada = 89,2857 %
- R-cuadrado (ajustado para grados de libertad) = 78,5714 %
- Error estándar est. = 4,94975
- Error absoluto medio = 2,66667
- Estadístico D-W = 1,76531 (P=)
- Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,255102

El valor de P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre la tasa de eliminación de mercurio y el pH con un nivel de confianza del 95,0 % o superior.

La estadística R-cuadrado muestra que el modelo de ajuste explica el 89,2857 % la variación en el porcentaje de eliminación de mercurio. El coeficiente de correlación de 0,9911 muestra una relación relativamente estrecha entre las variables. El error estándar de la estimación indica que la desviación estándar de los residuos es 0,9975. Este valor se puede utilizar para construir un límite de predicción para nuevas observaciones seleccionando la opción Predecir del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 2,66667 es la media de los

residuos. DurbinWatson (DW) Stats verifica el resto en busca de correlaciones significativas según el orden de aparición en el archivo de datos



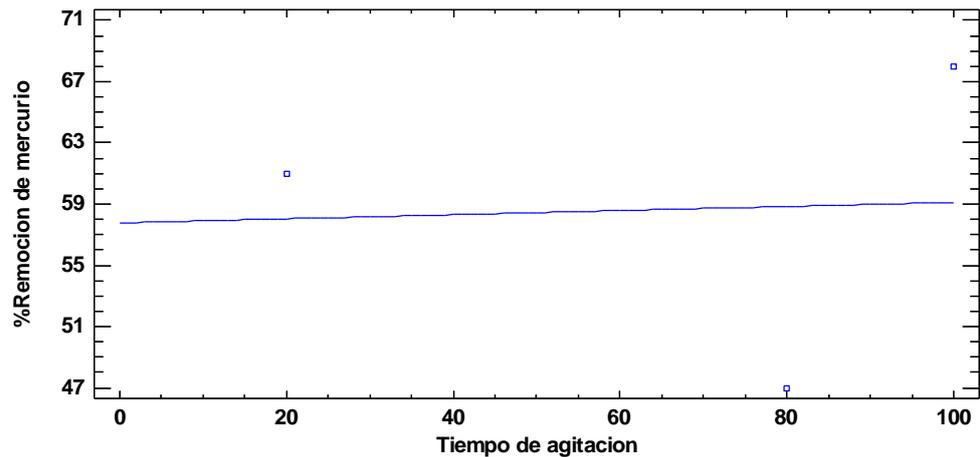
**Figura 13.** Modelo ajustado % remoción de mercurio vs pH

En la figura 13 se presenta el pH vs el % de remoción del mercurio en donde se puede visualizar que el porcentaje de remoción está en función al pH mientras menor sea este (ácido) existe un mayor porcentaje de remoción del mercurio.

### El StatAdvisor

Se muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre %Remoción de mercurio y pH. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\% \text{Remoción de mercurio} = 82 - 2,5 * \text{pH}$$



**Figura 14.** Modelo ajustado % de remoción de mercurio vs tiempo de agitación

En la figura 14 presenta el tiempo de agitación vs el % de remoción del mercurio en donde se puede visualizar que a 100 minutos se da el mayor porcentaje de remoción 68%.

#### **El StatAdvisor**

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre %Remoción de mercurio y tiempo de agitación. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\% \text{Remoción de mercurio} = 57,7692 + 0,01346 * \text{tiempo de agitación}$$

#### **4.3.4. Capacidad de remoción del arsénico por el carbón activado con FeCl3**

Se usaron muestras de aguas residuales de la mina Rinconada para pruebas de adsorción y evaluación de carbón activado hecho de biomasa waraqqo. Los resultados de las pruebas de adsorción se presentan en la tabla 14.

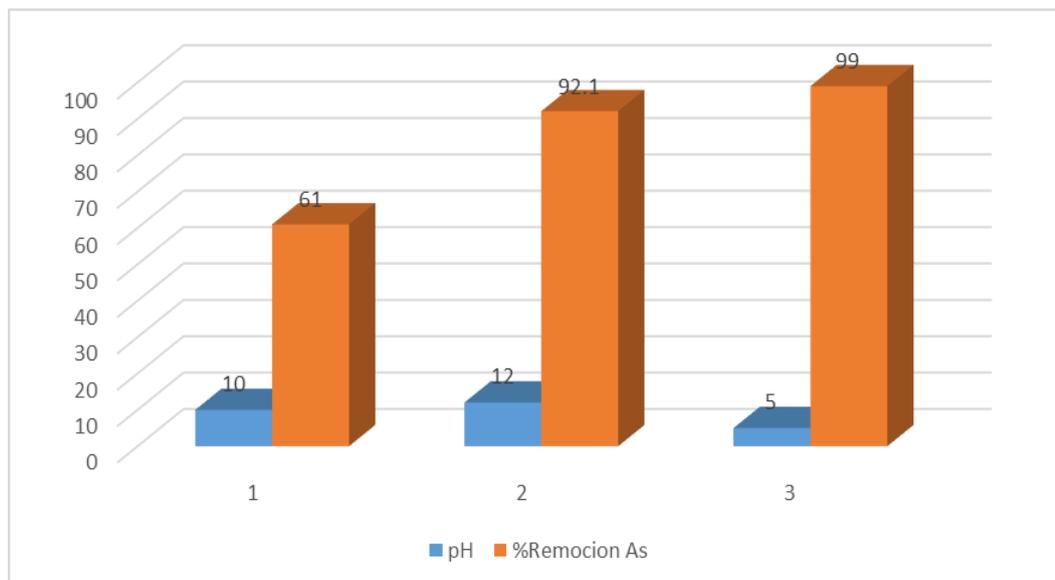
**Tabla 15.** Capacidad y remoción del Arsénico con biocarbon

$C_0$ mg/l	$C_f$ mg/l	Capacidad de remoción	Porcentaje de remoción
11,107	0,0719	64%	99%

#### 4.3.5. Efecto del tiempo de agitación y pH

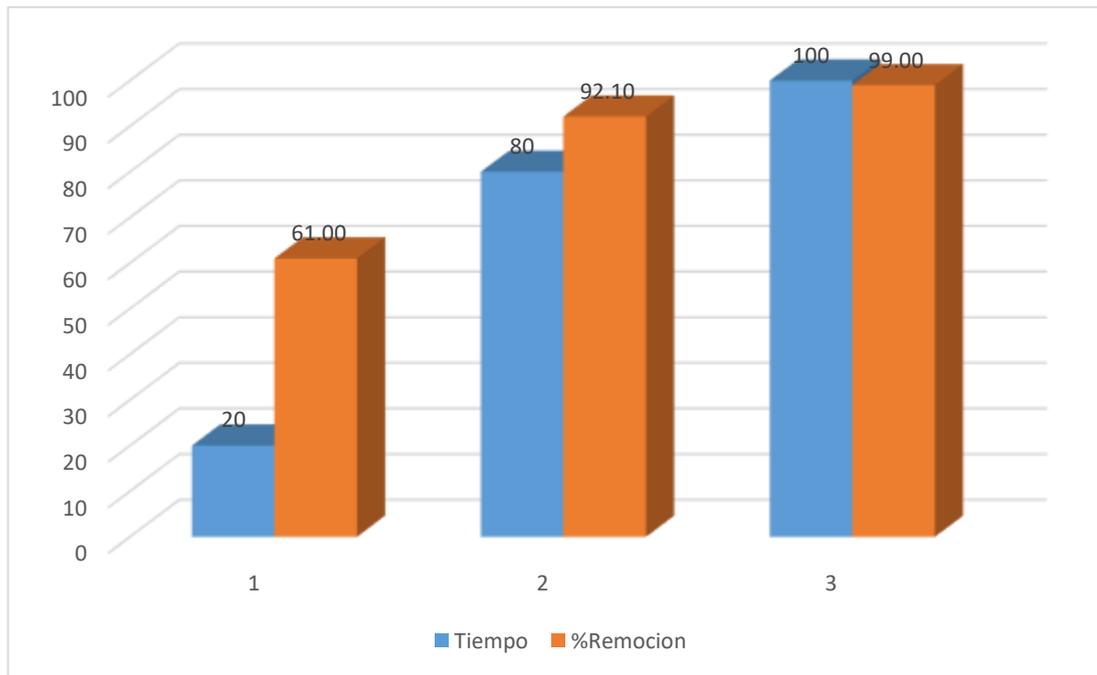
**Tabla 16.** Remoción de arsénico a diferentes tiempos y pH con biocarbon

Tiempo (min)	pH	$C_0$ mg/l	$C_f$ mg/l	Capacidad de remoción	Porcentaje de remoción
20	10	11,007	0.935	60%	61%
80	12	11,007	0,863	77%	92,1%
100	5	11,007	0,719	85%	99%



**Figura 15.** Efecto de pH en el % de remoción de arsénico

La figura 15 muestra que el Ph óptimo para la eliminación es un máximo de 5, con una tasa de remoción del 99%.



**Figura 16.** Efecto de tiempo de agitación en el % de remoción de arsénico

La figura 16 muestra que al aumentar el tiempo de contacto y agitación aumenta la cantidad de Arsénico removido, luego de 100 minutos el carbón activado se satura con iones As con una tasa de remoción del 99%, luego de este tiempo la reducción ya no es significativa, mostrando que el estado de equilibrio se logró, donde la tasa de adsorción fue igual a la tasa de desorción; por lo tanto, la mayor parte del metal en solución permaneció en la superficie porosa del carbón activado, mientras que en 20 min solo se había removido el 61%.

#### 4.3.6. Regresión Simple - %Remoción de Arsénico vs. Tiempo de agitación

- Variable dependiente: %Remoción de Arsénico
- Variable independiente: Tiempo de agitación
- Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

**Tabla 17.** Regresión simple % remoción de arsénico vs tiempo de agitación

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	51,7	2,5923	19,9437	0,0319
Pendiente	0,485	0,034641	14,0007	0,0454

#### 4.3.7. Análisis de Varianza

**Tabla 18.** Análisis de varianza para el % de remoción del arsénico

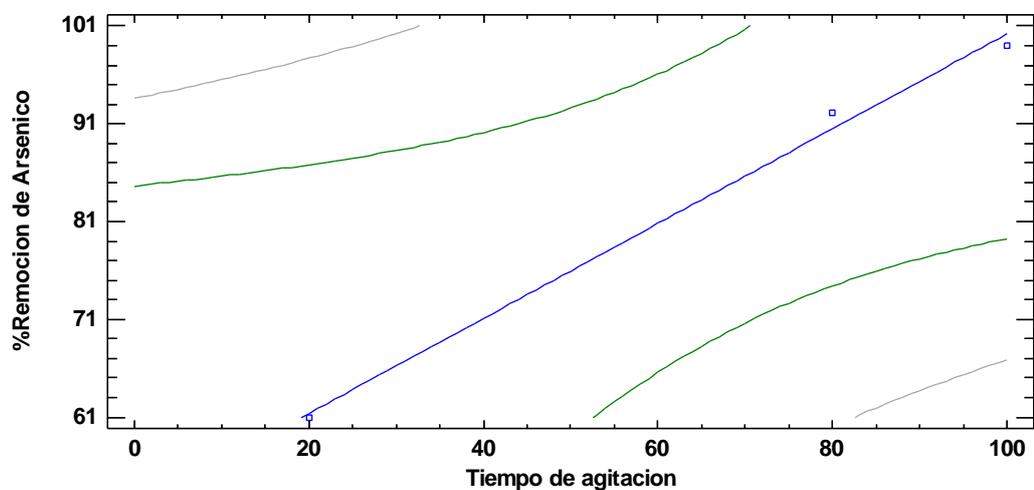
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	815,447	1	815,447	196,02	0,0454
Residuo	4,16	1	4,16		
Total (Corr.)	819,607	2			

- Coeficiente de Correlación = 0,997459
- R-cuadrada = 99,4924%
- R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,9849 %
- Error estándar est. = 2,03961
- Error absoluto medio = 1,06667
- Estadístico D-W = 2,84615 (P=)
- Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,615385

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es inferior a 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre el porcentaje de eliminación de arsénico y el tiempo de agitación con un nivel de confianza del 95,0 %. Las

estadísticas de R Cuadrada indican que el modelo ajustado explica el 99,92% de la variación en el % de eliminación de arsénico. El coeficiente de relación 0,99759 muestra una relación relativamente estrecha entre las variables. El error estándar de la estimación indica que la desviación estándar de los residuos es 2.03961. Este valor se puede utilizar para crear un límite de predicción para nuevas observaciones seleccionando la opción Predecir del menú de texto.

El error absoluto medio (MAE) de 1,06667 es la media de los residuos



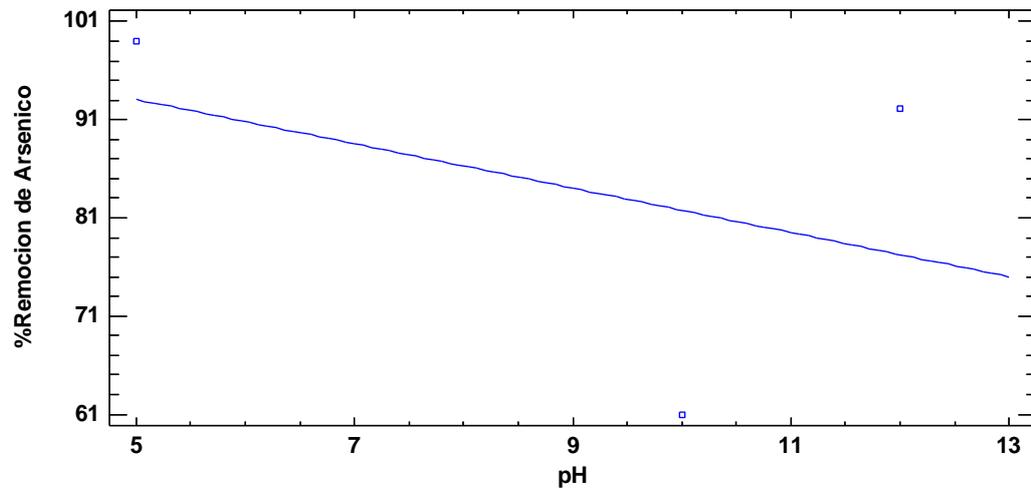
**Figura 17.** Modelo ajustado % remoción de arsénico vs tiempo de agitación

En la figura 17 se presenta los resultados del porcentaje de remoción Vs tiempo de agitación, donde a un tiempo de agitación de 100 minutos se removi6 un 99% de ars6nico mientras tanto que a 20 minutos se obtuvo solamente un 61% de ars6nico.

#### El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relaci6n entre % remoci6n de ars6nico y tiempo de agitaci6n. La ecuaci6n del modelo ajustado es:

$$\% \text{Remoci6n de ars6nico} = 51,7 + 0,485 * \text{Tiempo de agitaci6n}$$



**Figura 18.** Modelo ajustado % de remoción de arsénico vs el pH.

En la figura 18 se presenta los resultados del porcentaje de remoción Vs pH, donde el pH más óptimo para obtener un mayor porcentaje de remoción fue a un pH de 5 (ácido) para el cual se removió un 99% de arsénico.

### El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre % remoción de arsénico y tiempo de agitación. La ecuación del modelo ajustado es

$$\% \text{Remoción de Arsénico} = 104,353 - 2,25769 * \text{pH}$$

#### 4.4. DISCUSIÓN

Los resultados a nivel general evidencian una remoción de los metales pesados mercurio al 68% y de arsénico al 99% en las aguas residuales mineras que tuvieron un valor de pH de 5, utilizando el bioarbo de waraqqo en un tiempo de agitación de 100 minutos. siendo muy parecidos a los resultados de Morocho y Vera (2015) donde obtuvieron un porcentaje de remoción de 90,6% a pH – 5. Mientras que Mohamed et al (2021) obtuvieron un porcentaje de remoción de 8 ,7% a pH 5. Los resultados reportados por León (2017) indican que el tiempo de equilibrio para la eliminación de Hg es de 120 minutos y la tasa de eliminación es de 98.318%. En cambio, Giraldo et al (2020) fijaron un tiempo de 100 minutos, logrando un retiro de 90%. Por otra parte Mohamed et al (2021) determinó el tiempo de equilibrio en 30 min, obtuvo más del 87%.

Los resultados muestran antes de aplicar el biocarbon de waraqqo, donde la concentración de metales pesados mercurio y arsénico en las aguas residuales mineras donde su pH es igual a 3,5 siendo altamente ácido y respecto a mercurio su conetración fue 11,875 mg/l y en arsénico la concentración fue de 11,007mg/l encontrándose estos valores por encima de los LMP según el D.S. 0-31-2010-S.A. siendo muy parecidos a los resultados que presenta Sucari (2022) donde la concentraión de los metales pesados en las aguas residuales de mina fue arsénico = 2,1mg/l, cadmio = 3, mercurio = 0,004 plomo = 0,16 y su valor de pH fue 2,52 altamente ácido, esto antes de aplicar el cómpost de residuos orgánicos urbanos.

Los resultados despues de haber aplicado el biocarbon de waraqqo en las aguas residuales de mina con valores de pH= 5 se, evidencia que los metales pesados redujeron su concentración, tanto en mercurio de 11,875mg/l a 4,375mg/l como en el arsénico de 11,007mg/l a 0,719mg/l en 100 miutos de agitación. Aguirre (2017) indica



que el tiempo de equilibrio para la remoción de arsénico es de 120 min y el porcentaje de remoción es de 70.3%. Por su parte, Mojica et al (2012) establecieron un tiempo de equilibrio de 120 min, obteniendo una cantidad de remoción superior al 98.7%. Mientras que Ahmed (2021) afirmó que el tiempo de equilibrio fue de 14 min y que se eliminó el 86% del arsénico. Para Barreto (2013) determinó que el tiempo de equilibrio fue de 180 min, logrando una remoción de arsénico del 67,50 %.



## V. CONCLUSIONES

El porcentaje máximo de remoción de mercurio fue el 68%, realizado a pH 5 y 100 min como tiempo la agitación, mientras que para el arsénico se obtuvo un 99% de remoción en las mismas condiciones, en ambos casos se utilizaron 6 g de biocarbón de waraqqo.

Las concentraciones iniciales de mercurio y arsénico en las aguas residuales de la mina antes del tratamiento fueron de 11,875 mg/l y 11,07 mg/, respectivamente, con una turbidez de 3 200  $\mu$ S/cm, sólidos disueltos totales de 2200 mg/l y un pH =2 superior al límite permisible.

Las concentraciones finales de mercurio y arsénico en las aguas residuales de la mina después del tratamiento fueron de 4,375mg/l y 0,719 mg/l, respectivamente, con una turbidez de 1500  $\mu$ S/cm, sólidos disueltos totales de 400 mg/l y un pH =7,1 estando debajo de los límites máximos permisibles.



## VI. RECOMENDACIONES

Realizar la remoción de los metales pesados sin variar el valor de pH en las aguas residuales de mina, para así determinar en diferentes tiempos de agitación.

Analizar la remoción de otros metales pesados ya que las aguas residuales de mina contienen varios metales pesados ya que en la caracterización inicial no se tomó en cuenta los demás metales pesados.

Hacer comparación de la remoción de metales pesados utilizando el biocarbon de waraqqo y otros métodos de remoción, para saber la eficiencia y diferencia en el porcentaje de remoción de los metales pesados.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre (2017) “*Adsorción de metales pesados (pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto*”.
- Ahmed et al (2021)” *Adsorción de arsénico (III) de una solución acuosa mediante un nuevo biocarbón modificado con fósforo obtenido de Taraxacum mongolicum Hand-Mazz*”
- Alami, S. (2010). Aprovechamiento del Hueso de la Aceituna, Biosorcién de Iones metalicos. España: Uniiversidad de Granada.
- Atausupo(2019) “*Etnobotánica y análisis fitoquímico de la familia cactaceae en un contexto de cambio climático en el corredor vial interoceánico en las regiones de cusco y puno*”
- Atkinson, B., Bux, F., & Kasan, H. (1998). Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents.
- Ayestas, J. (2006). *Obtención del Carbón Activado por el Método de Activación Química a partir de Ttola. Puno - Perú*: Universidad Nacional del Atiplano.
- Ayestas, J. (2006). *Obtención del Carbón Activado por el Método de Activación Química a partir de Ttola. Puno - Perú*: Universidad Nacional del Atiplano.
- Babazad, Z., Kaveh, F., Ebadi, M., & Mehrabian, R. Z. (2021). *Heliyon Ef fi cient removal of lead and arsenic using macromolecule-carbonized rice husks. Heliyon, 7(February), e06631.*
- Bastidas, M., Buelvas, L. M., Márquez, M. I., Popular, U., & De, C. (2010). *Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Activated Carbon Production from Carbonaceous Precursors of the Department of Cesar , Colombia, 21(3), 87–96.*
- Bansal, R., & Goyal, M. (2005). Activated Carbon Adsorption. . United States of America



- Barreto (2013), en su trabajo de investigación obtención de carbón activado a partir de la pepa de aceituna para la adsorción de metales pesados (Pb, As)
- Bastidas, M., Buelvas, L., Marquez, M., & Rodrigues, K. (2010). ). *Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia. el cesar, Colombia: Información tecnológica*
- Carro de Diego Leticia M. (2012), “*Modificaciones superficiales de la Biomasa de Alga Sargas summuticum para la eliminación de mercurio*”. Universidad de Coruña Colombia.
- Carro, L., Herrero R., Barriada J.L., Sastre de Vicente M.E., (2009), Remoción de 70 mercurio: un estudio fisicoquímico de la interacción del metal con materiales naturales. *Revista de Tecnología Química y Biotecnología*
- Carbon, O. D. E., Partir, A. A., & Organicos, D. E. R. (n.d.). No Title.
- Centro, I., Chaco, R., Estaci, F., & Agropecuaria, E. (2012). INTA Centro Regional Chaco Formosa Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña Ruta 95 km 1108. Provincia de Chaco. CP 3700. Argentina.
- Clarimex. (2000). Clasificación del carbon activado.
- De, E. (2013). *Arsénico en Agua*.
- Desaprovechado, E. L. R. (2017). *Aguas residuales*.
- En, D., Ambientales, C., Antonio, R., & Flores, C. (2018). “*Obtención y Caracterización de Carbones Activados a Partir de Residuos Agroindustriales*.”
- Electronic J. Biotechn. Quintelas C. y Tavares T. (2001). Extracción de cromo (VI) y cadmio (III) de una solución acuosa mediante una biopelícula bacteriana compatible con carbón activado granular, Biotecnología Letters.*
- Español, C. S. (2001). Toxicología del Mercurio. Actuaciones Preventivas en Sanidad Laboral y Ambiental. Jornada Internacional sobre el Impacto Ambiental del*



*Mercurio Utilizado por la Minería Aurífera Artesanal en Iberoamérica.  
Lima, Perú*

Forster C.F., (1997), *Biosorbents for metal ions*. Taylor & Francis, London. Weber, T.W., Chakravo R.K., (1974), Modelos de difusión de poros y sólidos para adsorbedores de lecho fijo. Weber, W. J. (1979). Control de la Calidad del Agua Procesos Físicoquímicos. Editorial Reverté S.A, Barcelona: España.

Fraume R. N. (2007). *Diccionario Ambiental*. ECOE Ediciones: Colombia.

Fachelli, S. (n.d.). *Metodología de la investigación social cuantitativa*.

Gamboa, G. D. (2009). *Activación química adsorption of fenol with activated carbon prepared from common medlar stones , by chemical activation*, 75(1), 64–75.

Garc, R. A., Antonio, Y., & Oporta, G. (2017). *Unan-managua recinto universitario rubén darío monografía para optar al título de licenciado en química industrial proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia ( citrus sinensis linn osbeck )*, laboratorios de química unan-managua , ii semestre 2016 .

García y granillos (2016) “*evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (citrus sinensis linn osbeck)*”, laboratorios de química unan-managua,

Giraldo et al (2020) *Eliminación de mercurio de las aguas residuales mediante adsorbentes de desechos agroindustriales*

Glibota, G. (2005) *Adsorción de Arsénico en Filtros de Carbon*. Chaco-Argentina. *Comunicaciones Científicas* 401cyasTecnológicas.

Goyzueta, G. (2007). *La quema de los totorales en el manejo actual de la reserva nacional del Titicaca*. Universidad Nacional del Altiplano, 35.

Grosso, G. C. (1997). *EL carbón Activado Granular en el Tratamiento del Agua*. Argentina: Aconcagua.



- Grosso, G. C. (1997). *EL carbón Activado Granular en el Tratamiento del Agua*. Argentina: Aconcagua.
- Guerra, F., Garza, A., & Villalobos, A. (2008). “*Demanda de cloro y Cloro Residual*” Trabajo Pre laboratorio. Mexico: Universidad Iberoamericana.
- Gutierrez, M. (2010). *Efecto del Carbón Activado Obtenido de Lenteja de Agua Lemna sp. En Parámetros Fisicoquímicos y Bacteriológicos de las Aguas de la Bahía de Puno. Puno-Peru*: Universidad Nacional del Altiplano.
- Hamdaoui, O., & Naffrechoux, E. (2007). *Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters*. Journal of Hazardous materials, 401-411.
- Heyder Edward y Dietr A. (1846). Descripción Botánica. Revista Ilustrada, Alemania.
- Hovanec, T., Spotte, S., & Adams, G. (1998). *Diferentes clases de carbones activados*. Madrid
- Ingenier, S. E. N., Polit, D. E. L. A. E. U., & Sevilla, C. U. (n.d.). *Manual del carbón activo*, 1–89.
- Jiménez, A. M. (2005). *Interacción del Mercurio con los Componentes de las Aguas Residuales*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia
- Kuramoto, J. R. 2004. *La Minería Artesanal e Informal en el Perú. -Grupo de Análisis para el Desarrollo*. (GRADE).pág. 23.
- León (2017) “*Bioadsorción de mercurio (II) en aguas residuales generados por el centro minero informal de lunar de oro, ubicado en el distrito de Ananea con biomasa de waraqqo*” Universidad Nacional del Altiplano.
- Leopold, K., Foulkes M., Worsfold P., (2010), *Métodos para la determinación y especiación del mercurio en aguas naturales-Una revisión*. Analytica Chimica.



- Liu, Y., Wang J., (2009), *Fundamentos y aplicaciones de isothermas de biosorción, cinética y termodinámica*. Nova Science Publishers, Inc., Nueva York.
- López-Roldán, P.; Lozares, C. (2007). *Implicaciones sociológicas en la construcción de una muestra estratificada*. *Empiria*, 14: 87-108
- Marsh, H., & Rodrigues, R. F. (2006). *Activated Carbon (First ed.)*. Elsevier Ltd, Great Britain
- Mohamed et al (2021) “*Nanopartícula de ferrita de Mn decorada Zn - Al hidróxido doble en capas Celulosa nanocompuesto de biocarbón activado para la remediación eficiente del azul de metileno y el mercurio (II)*”
- Mojica, L., Ramires, W., Rincon, N., Blanco, D., Giraldo, L., & Moreno, J. (2012). *Síntesis de carbon activado proveniente de semillas de eucalipto por activación física y química*. Scielo, 8. 109
- Mojica, L., Ramirez, W., Silva, N., Martinez, A., Giraldo, L., & Moreno, J. (2012). *Síntesis de carbón activado proveniente de semillas de eucalipto por activación física y química*. Scielo, 7.
- Morocho, D., & Vera Gaskell, V. E. (09 de noviembre de 2015). Evaluación de adsorción de plomo y mercurio en carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz. Machala, El oro.
- Mart, X. G. (2004). *El mercurio como contaminante global Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente, 0*.
- Medina, G., Arévalo, J., Quea, F. (2007). “*Estudio de Investigación de la Minería Ilegal en el Perú: Repercusión para el Sector Minero y el país*”. Arequipa-Perú. pág. 5.
- Navarro, G. (1996). *Catálogo Ecológico Preliminar de las Cactáceas*. La Paz-Bolivia.
- Nordbeg, G. F., Fowler, B. A. and Friberg, L. (2007). *Handbook on the Toxicology of Metals (Third ed)*. Elsevier B.V: United States of América.



- Pilamonta, M. J. (2013). *Mejoramiento del Carbón Activado Contaminado en el tratamiento del Agua Potable*. Tesis de Grado para la Obtención del Título de Ingeniero Químico. Quito, Peru.
- Plaza J., (2012). “*Remoción de metales pesados empleando algas marinas*” .Tesis doctoral. Universidad nacional de la plata.
- Pamela, K., Ledezma, R., Pedro, C., & Revilla, E. (n.d.). Contaminación por metales, 45–46.
- Patricio, D., Torres, R., Pablo, P., & Tamaquiza, P. (2020). Universidad Técnica de Ambato.
- Kaiser, S.; Saleemi, A.; Umar, M. 2009. Biosorción de plomo (II) y cromo (VI) en el casco de maní: estudio de equilibrio, cinética y termodinámica.
- Rodrigo, I. L. (n.d.). *Métodos de investigación de enfoque experimental*.
- Reinoso, F. (2005). “*Carbón activado: estructura, preparación y aplicaciones*”. Revista Uniandes, 66-69.
- Rojas (2012) *elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica*
- Rojas, C. (1988). *Control de Calidad Fisicoquímico y Bacteriológico de Agua Potable*. Santiago de Cali: Universidad del Valle facultad de ingeniería Departamento de Proceso Químicos y Bilógicos Sección de Saneamiento Ambiental
- Schiewer, S. (1996). *Intercambio de iones multimetal en biosorción*, Ph.D. Tesis, Departamento de Ingeniería Química, Universidad McGill, Montreal, Canadá.
- Sepulveda, A., Bustamante, F., Silvestre, J., Suarez, S., & Orosco, N. (2008). *Adorbentes para la eliminacion de COVs, del libro eliminacion de emisiones atmosfericas de COVs por catalisis y adsorcion*. Argentina: Cooperacion Iberoamericana.



- Sucari León, A. (2022). Efecto del compost de residuos orgánicos urbanos en la remediación del drenaje ácido de la ex unidad minera Aladino VI. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/18366>
- Timberlake D., (2004), *Fuente y remediación para la contaminación por mercurio en sistemas acuáticos: una revisión de la literatura*. Wase, J.,
- Treybal, R. E. (1980). *Operaciones de Transferencia de Masa (2da ed.)*. Editorial McGraw-Hill: México. The Merck Index 2001. Décimotercera edición. John Wiley and Sons, New
- Tseng R. y Juang R., (2009) "Characteristics of Elovich equation used for the analysis of adsorption kinetics in dye-chitosan systems", *Chemical Engineering Journal*.
- Universidad de Sevilla, (s.f). *Manual del carbón activo – Master en ingeniería del agua*. Sevilla – España.
- Volesky B., (2003). Biosorption and me, *Water Research*. Wang, Q., Kim D., Dionysiou D.D., Sorial G.A.,
- Water SA. Bansal, R., & Goyal, M. (2005). *Activated Carbon Adsorption*. . United States of America.
- Who (1990). Methylmercury. *Environmental Health Criteria 101*. World Health Organization. Geneva. Zhou F.,
- York. Vargas M., (2009). *Evaluación del proceso de biosorción con cáscara de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil*. Ingeniería.



## ANEXOS

## Anexo A: Obtención del biocarbon.



A1. Waraqo



A2: Pesado



A3. calcinado

### Anexo B: impregnacion del biocarbon.



**B 1** :acido fosforico y cloruro ferrico

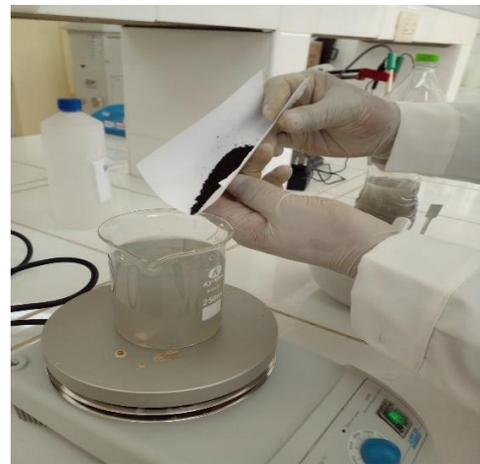


**B 2.**Impregnacion durante 24 horas

### Anexo C: Pruebas de remocion



**C1.**Pesado de la muestra



**C2.**Pesado de la muestra



**C3.**Remocion



**C4.**filtrado de la muestra



**C5: filtrado**

### **Anexo D: Muestreo**



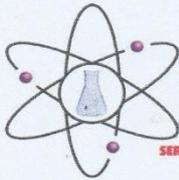
**D 1: Muestras tratadas**



**D2: Muestreo**



## Anexo E: Certificado del análisis del arsénico



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

**RH-M-54-1628**

### INFORME DE ENSAYO

---

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE : **Bach: YONI ZAPANA COILA**

ASUNTO : **Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra**

PROCEDENCIA : **CENTRO POBLADO RINCONADA**

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : **04**

SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis Químico elemento Arsénico (As)**

MOTIVO : **Análisis de agua residual de origen minero de la mina Rinconada**

RECEPCION DE MUESTRAS : **Botellas de vidrio, debidamente conservado.**

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **01/09/2019 al 11/10/2019**

**DETALLE DEL INFORME**

---

#### RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Código de Cliente	As
			mg/L
1	RH-M51580	Muestra Agua Sin Tratar	10,070
2	RH-M51652	Muestra Agua tiempo 20 min. y pH 10	0,935
3	RH-M51653	Muestra Agua tiempo 100 min. y pH 12	0,863
4	RH-M51654	Muestra Agua tiempo 100 min. y pH 5	0,719

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

---

**METODOS DE REFERENCIA**

\* Determinación de Mercurio (Hg) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica, digestión ácida



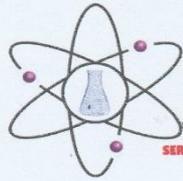
Inc. P.O. Huaynapata Luque  
CIP 167755  
GERENTE DE OPERACIONE

---

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



## Anexo F: Certificado de análisis de mercurio



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

**RH-M-54-1627**

### INFORME DE ENSAYO

#### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach: YONI ZAPANA COILA**

ASUNTO : **Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra**

PROCEDENCIA : **CENTRO POBLADO RINCONADA**

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : **04**

SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis Químico elemento Mercurio (Hg)**

MOTIVO : **Análisis de agua residual de origen minero de la mina Rinconada**

RECEPCION DE MUESTRAS : **Botellas de vidrio, debidamente conservado.**

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : **01/09/2019 al 11/10/2019**

**DETALLE DEL INFORME**

#### RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Código de Cliente	Hg
			mg/L
1	RH-M51577	Muestra Agua tiempo 100 min. y pH 5	4,375
2	RH-M51578	Muestra Agua tiempo 100 min. y pH 13	6,250
3	RH-M51579	Muestra Agua tiempo 20 min. y pH 13	5,625
4	RH-M51580	Muestra Agua Sin Tratar	11,875

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

#### METODOS DE REFERENCIA

\* Determinación de Mercurio (Hg) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica, digestión ácida



*[Firma]*  
CIP 167755  
GERENTE DE OPERACIONE

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

## Anexo G: Certificado de análisis de biocarbon

LABORATORIO AMBIENTAL DE  
AGUA SUELOS Y MECÁNICA DE SUELOS

ANÁLISIS  
Físico - Químico - Microbiológico  
Agua, suelo, alimentos  
Medio ambiente  
Mecánica de suelos y otros.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

**ASUNTO:** ANÁLISIS - BIOCARBON DE WARAQO  
**PROCEDENCIA:** MINA LA RINCONADA  
**INTERESADO:** YONI ZAPANA COILA  
**MOTIVO:** "REMOCION DE MERCURIO Y ARSENICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL BIOCARBON DE WARAQO EN LAS AGUAS RESIDUALÑES DE LA MINA RINCONADA – PUNO"  
**FECHA DE MUESTREO:** :13/07 /2021 (por el interesado).  
**FECHA DE ANÁLISIS:** :14/07 /2021.

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:**

Aspecto : Solido  
Color : Negro

**CARACTERÍSTICAS QUIMICO:**

DETERMINACIONES	RESULTADO
Carbono %	40.43
Nitrógeno %	0.25
Cenizas Volátiles %	69.71
Relación C/N %	161.72

Ing. MSc. Juan Carlos López Cuscaño  
CIP: 31178  
ESPECIALISTA EN SUELOS