



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



**“RECUPERACIÓN DE ZINC POR EL MÉTODO DE ADSORCIÓN  
CON CARBÓN ACTIVADO EN EL RÍO HUANCANE”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. VILMA YANETH CHAMBI HUARILLOCLA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*La presente tesis va dedicada con mucho cariño y gratitud a Dios, nuestro padre celestial, quien supo guiarme por el buen camino, por concederme la vida, salud, sabiduría y humildad, también por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.*

*Con todo el amor y cariño a mis padres, Aquelino Chambi y Rosa Huarilloclla a quienes admiro por el esfuerzo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado mis metas. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser mis padres. A mis hermanas (os), en especial a mi hermana Gladys por estar siempre presente, acompañandome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.*

**Vilma Yaneth**



## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme disfrutarla al lado de una maravillosa familia; por poner en mi camino a mis amigos, docentes, compañeros de los cuales aprendí mucho y me dieron muchas alegrías.*

*Agradezco a mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Universidad licenciada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (Resolución de Consejo Directivo N° 101-2017- SUNEDU/CD), por brindarme nuevos conocimientos, en especial a la Facultad de Ingeniería Química a todos y cada uno de los docentes por la formación académica y forjarme como profesional.*

*En particular, dar las gracias a mi director de tesis M.Sc. Ciro Hernán Vera Alatrística, por su patrocinio en el proceso de desarrollo de la tesis y apoyo en la investigación Y a mis jurados Dr. Gregorio Palomino Cuela, M.Sc. Roger Huanqui Perez, M.Sc. Lidia Ensueño Romero Iruri, por el interés y atención que han puesto en el trabajo de investigación y también por sus apreciaciones constructivas y sugerencias aportadas.*

*Agradezco a mis padres por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo. Agradecer a mis hermanas (os), por su gran apoyo y sus consejos en momentos difíciles y en especial agradecer a mi amiga Micaela por apoyarme constantemente en la realización de mi tesis.*

**Vilma Yaneth**



## INDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**INDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**INDICE DE TABLAS**

**RESUMEN ..... 10**

**ABSTRACT..... 11**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 13**

**1.2. OBJETIVOS ..... 19**

1.2.1. OBJETIVO GENERAL ..... 19

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 19

### **CAPÍTULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. MARCO TEÓRICO ..... 20**

2.1.1. Carbón activado ..... 20

2.1.2 Clases de Carbón Activado ..... 21

2.1.3. Estructura y propiedades del carbón activado..... 22

2.1.4. Composición química del carbón activado (árbol de coco) ..... 23

2.1.5. Composición física..... 24

2.1.6. Características físicas del carbón activado..... 25

2.1.7. Influencia de la porosidad en la adsorción en fases gas y líquida..... 25



2.1.8. Influencia de la naturaleza química en la adsorción en fases gas y líquida .....	26
2.1.9. Aplicaciones del carbón activado .....	26
2.1.10. Metales pesados .....	27
2.1.11. Importancia del análisis de los metales pesados .....	27
2.1.12. Contaminación de aguas superficiales por metales pesados .....	28
2.1.13. Toxicidad y Bioacumulación de los metales pesados y los factores que la modifican.....	28
2.1.14. Origen antropogénico.....	31
2.1.15. Origen natural .....	31
2.1.16. Zinc .....	32
2.1.17. Propiedades físicas-químicas del zinc.....	34
2.1.18. Adsorción .....	34
2.1.19. Factores que influyen en el proceso de adsorción.....	35
2.1.20. Influencia del pH en el proceso de adsorción .....	36
2.1.21. Naturaleza del adsorbente .....	37
2.1.22. Tipos de carbones según la materia prima .....	38

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN</b> .....	40
<b>3.2. MATERIALES</b> .....	41
3.2.1 Materia Prima .....	41
3.2.2 Materiales y equipo.....	41
3.2.3 Reactivos.....	42
3.2.4 Equipos e instrumentos .....	42



<b>3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b> .....	42
3.3.1. Técnicas de muestreo .....	43
3.3.2. Caracterización del agua del río Huancané contaminado con zinc.....	43
3.3.3. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA LA RECUPERACIÓN DE ZINC PROVENIENTE DE LAS AGUAS DEL RIO HUANCANÉ.....	44
3.3.4. METODOLOGÍA PARA DEFINIR LA TECNOLOGÍA PROPUESTA, DANDO A CONOCER LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE PH Y TIEMPO DE ADSORCIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS DEL RÍO HUANCANÉ.....	45
3.3.5. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ZINC DEL RIO HUANCANÉ. ....	49

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
4.1.1 RESULTADO DE LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA LA RECUPERACIÓN DE ZINC PROVENIENTE DE LAS AGUAS DEL RIO HUANCANÉ.....	54
4.1.2 RESULTADO DE LA TECNOLOGÍA PROPUESTA, DANDO A CONOCER LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE pH Y TIEMPO DE ADSORCION PARA LA RECUPERACIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS DEL RIO HUANCANÉ. ....	56



4.1.3. RESULTADO DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ADSORCIÓN DE ZINC DEL RIO HUANCANÉ.....	62
4.1.4 DISCUSIÓN .....	62
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>71</b>

**ÁREA:** Medio Ambiente

**LÍNEA:** Tecnologías Ambiental y Recursos Naturales

**FECHA DE SUSTENTACION:** 21 de abril del 2022



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Estructura de los grupos funcionales de oxígeno .....	24
<b>Figura 2.</b>	Ciclo biogeoquímico general de los metales pesados .....	30
<b>Figura 3.</b>	Procesos de adsorción e intercambio iónico.....	35
<b>Figura 4.</b>	Diferentes formas de adsorbentes de carbón .....	38
<b>Figura 5.</b>	Número de prueba con agitación magnética.....	46
<b>Figura 6.</b>	Diagrama de flujo del proceso de adsorción con agitación.....	49
<b>Figura 7.</b>	Eficiencia de recuperación de Zn con carbón activado a diferentes pH....	55
<b>Figura 8.</b>	Pareto estandarizado para Y .....	60
<b>Figura 9.</b>	Efectos principales para Y .....	61
<b>Figura 10.</b>	Contornos de superficie de la respuesta estimada .....	61
<b>Figura 11.</b>	Toma de muestras de agua del rio Huancané .....	79
<b>Figura 12.</b>	Pesando 50 mg de carbón activado para cada vaso de precipitado .....	79
<b>Figura 13.</b>	Preparando las muestras con carbón activado .....	80
<b>Figura 14.</b>	Determinando el pH de cada una de las 7 muestras .....	80
<b>Figura 15.</b>	Proceso de agitación magnética de agua de rio con Zn.....	81
<b>Figura 16.</b>	Proceso de filtración de cada muestra del proceso de adsorción de Zn ....	81
<b>Figura 17.</b>	Envasado de las muestras de agua filtrada lista para su análisis .....	81





## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Características físicas del carbón activado .....	25
<b>Tabla 2.</b>	Concentraciones de metales pesados en varios tipos de rocas (mg/g).....	32
<b>Tabla 3.</b>	Tipos de carbón activado según la materia prima.....	39
<b>Tabla 4.</b>	Valores límite de las aguas destinadas a la Descarga de efluentes de actividades minero-metalúrgicas .....	44
<b>Tabla 5.</b>	Análisis químico del agua del rio Huancané.....	45
<b>Tabla 6.</b>	Tratamiento de adición de carbón activado .....	48
<b>Tabla 7.</b>	Variables para el diseño experimental .....	51
<b>Tabla 8.</b>	Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial para el Zn .....	52
<b>Tabla 9.</b>	Matriz de diseño factorial $2^2 = 4$ para el Zn.....	53
<b>Tabla 10.</b>	Resultado de las pruebas de recuperación de Zn en las muestras de aguas del rio Huancané .....	54
<b>Tabla 11.</b>	Zinc recuperado de la muestra tratada .....	55
<b>Tabla 12.</b>	Resultados de concentración de zinc recuperado de la muestra .....	56
<b>Tabla 13.</b>	Efectos estimados para Y .....	57
<b>Tabla 14.</b>	Análisis de varianza para Y .....	58
<b>Tabla 15.</b>	Coefficiente de regresión para Y.....	59
<b>Tabla 16.</b>	Optimizar respuesta .....	60
<b>Tabla 17.</b>	Matriz de diseño factorial $2^2 = 4$ de aguas de rio.....	74
<b>Tabla 18.</b>	Zinc recuperado de la muestra tratada con carbón activado .....	75
<b>Tabla 19.</b>	Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial para el Zn .....	76



## RESUMEN

El objetivo del trabajo de investigación es la recuperación de zinc de las aguas del río Huancané, mediante proceso de adsorción con carbón activado granulado (de coco). se tomaron muestras de agua (agosto del 2021) en el punto de coordenadas de  $15^{\circ}06'06.5''S$  y  $69^{\circ}48'06.0''W$  (a 2km, ríos arriba del puente del rio Huancané), en el Distrito y Provincia Huancané, Región Puno. La metodología utilizada fue por objetivos, se determinaron los parámetros físico-químicos del agua de rio, que contiene metal pesado zinc ( $0,835 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), valor que supera los Límites Máximos Permisibles del D.S. 004-2017-MINAM (Estándares Nacionales de Calidad Ambiental ECA, para agua). Las evaluaciones experimentales se realizaron en 7 repeticiones y cada solución conteniendo 50 mg, de carbón activado, agitados a velocidad de 500 rpm, con tiempo de mezcla por 25min. a 180 min, en un agitador magnético para cada proceso. Como resultado se recuperó  $0,03802 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de zinc (95,447 % de rendimiento), del análisis del modelo matemático por experimentación y estadística, se observa, que la variable optima de adsorción fue para pH de 6,5; con un tiempo de agitación de 180 min, a 500 rpm. La validez del modelo de regresión estadística  $Y = 95,4801 - 0,00082592 * \text{Tiempo} - 0,000504271 * \text{pH}$ , queda demostrada que son validados mediante las variables de pH y tiempo de adsorción. Se concluye que el pH, es la variable más significativa en el proceso de recuperación del zinc. El coeficiente de correlación obtenido fue de  $R^2 = 92,98 \%$ , la cual indica que el proceso de adsorción de zinc con carbón activado, es adecuado.

**Palabras claves:** Adsorción, agitación magnética, carbón activado, metal pesado, zinc.



## ABSTRACT

The objective of the research work is the recovery of zinc from the waters of the Huancane River, through an adsorption process with granulated activated carbon (coconut). Water samples were taken (August 2021) at the coordinate point of 15°06'06.5"S and 69°48'06.0"W (2km upstream from the Huancane river bridge), in the Huancane District and Province, Puno Region. The methodology used was by objectives, the physical-chemical parameters of the river water were determined, which contains heavy metal zinc ( $0.835 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), a value that exceeds the Maximum Permissible Limits of the D.S. 004-2017-MINAM (National Standards of Environmental Quality ECA, for water). The experimental evaluations were carried out in 7 repetitions and each solution containing 50 mg of activated carbon, stirred at a speed of 500 rpm, with a mixing time of 25 min. at 180 min, on a magnetic stirrer for each process. As a result,  $0.03802 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  of zinc was recovered (95.447% yield), from the analysis of the mathematical model by experimentation and statistics, it is observed that the optimal adsorption variable was for pH of 6.5; with a stirring time of 180 min, at 500 rpm. The validity of the statistical regression model  $Y = 95.4801 - 0.00082592 * \text{Time} - 0.000504271 * \text{pH}$ , is shown to be validated by the variables of pH and adsorption time. It is concluded that the pH is the most significant variable in the zinc recovery process. The correlation coefficient obtained was  $R^2 = 92.98\%$ , which indicates that the zinc adsorption process with activated carbon is adequate.

**Keywords:** Adsorption, magnetic agitation, activated carbon, heavy metal, zinc.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas del río Huancané por metales pesados como el zinc, provenientes de efluentes mineros ponen en riesgo la salud humana, lo que conlleva a los gobiernos a establecer normatividades cada vez más estrictas, motivando de esta manera un aumento en la investigación y desarrollo de métodos más efectivos para la remoción de Zn, entre otros, que involucren abaratar costos y el uso de recursos naturales disponibles. El zinc es un metal pesado tóxico que, a bajas concentraciones en los humanos, puede causar enfermedades en el sistema gastrointestinal, neuromuscular, sistema nervioso central, enfermedades hematológicas, renales y reproductivos; está asociado a la esterilidad y muerte neonatal, y también tiene efectos teratogénicos y cancerígenos Moreno, (2008).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA) estableció el límite máximo permisible de zinc en agua potable de 0,001 ppm. Asimismo, debido al daño que puede producir su ingesta y su alta toxicidad, lo ha clasificado entre las 20 sustancias químicas más peligrosas para la salud humana, por lo que su remoción es importante. Selatnia *et al* (2004).

Comparando dichos tratamientos la adsorción presenta la ventaja de poseer las siguientes características: fácil operación, mayor fijación de metales en presencia de otros cationes y la posibilidad de recuperar los metales pesados. Los carbones activos pueden obtenerse por dos métodos: activación química y activación física. Sin embargo, la activación química, mediante un control adecuado de los parámetros de activación, permite obtener carbones activos con mayores áreas superficiales y con un buen



desarrollo de la porosidad a temperaturas de activación relativamente bajas, así como mayores rendimientos en comparación con los activados físicamente. Mellis, (2009)

Diversos métodos se han aplicado exitosamente para remover metales pesados presente en soluciones acuosas ácidas o alcalinas, entre éstos se pueden mencionar a los siguientes: cementación, intercambio iónico, extracción con solvente, deposición electroquímica y adsorción. La precipitación química y sedimentación es el método más comúnmente utilizado para remover metales en solución acuosa; sin embargo, la efectividad de este proceso depende considerablemente de la composición y naturaleza de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Selatnia, (2004).

La adsorción de metales pesados en solución acuosa sobre varios adsorbentes orgánicos e inorgánicos se ha investigado ampliamente. La lista de adsorbentes es muy larga; sin embargo, entre éstos cabe destacar los siguientes: quitosana, perlas de quitosana asilada en el grupo amino y entrecruzada poliméricamente; óxidos de manganeso; sílica gel; y carbón activado fabricado de varias materias primas. Selatnia, (2004)

El objetivo general del trabajo de investigación realizado es la recuperación de zinc del río Huancané por el método de adsorción con carbón activado y los objetivos específicos son, determinar las condiciones de utilización del carbón activado para la recuperación de zinc; definir la tecnología propuesta, dando a conocer los parámetros óptimos de pH y tiempo de adsorción para la recuperación de zinc; Determinar el modelo matemático para el proceso de recuperación de zinc.

## **1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Rodríguez, (2012). Logro recuperar el zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno utilizando carbón activado a partir del serrín de pino (*pinus sylvestris*) utilizando una temperatura de activación igual a 700°C (R-1,0/700), siendo la máxima cantidad de zinc adsorbido 48 mg/g. por gramo de carbón. La activación química dio como resultado



carbones activados con altas áreas superficiales malla 60, con un desarrollo de micro porosidad y presencia de meso porosidad, se obtuvieron 80,7 g. de carbón granular y 12,15 en polvo. La influencia del pH en la adsorción del zinc en el carbón activado R-1,0/700, la capacidad de adsorción  $q_e$  se incrementa, pasando por un máximo a pH = 5, siendo la máxima cantidad de cadmio adsorbido por gramo de carbón de 48 mg/g. Los parámetros óptimos para una buena adsorción del carbón activado son de 300 minutos y un pH de 5. Utilizando una cantidad muy baja de carbón activado (50mg), el rendimiento y capacidad de adsorción del carbón activado, muestra que a una R - 1,0/700 adsorbió un 95,00% de cadmio contenido en las aguas residuales de la Bahía del lago de la ciudad de Puno.

Merma & Salas, (2010). Obtienen las Isotermas de Adsorción del Ion Níquel mediante carbón activado utilizando como precursor bagazo de caña de azúcar activado químicamente con ácido fosfórico, en tiempos de carbonización moderados con el fin de utilizarlos en la remoción de iones metálicos pesados contenidos en aguas contaminadas, utilizando soluciones preparadas de Ni (II) como modelo.

En la primera etapa de la investigación se obtiene el carbón activado mediante la activación química con ácido fosfórico al 52% para tiempos de carbonización de 60 90 y 120 minutos, este proceso consistió en impregnar el precursor con solución acuosa de ácido fosfórico y carbonizarlo a 500 °C, posterior a ello se determina sus propiedades físicas y se realiza el modelo matemático establecido.

Condori, (2011). Determinó la capacidad de adsorción de Zn contenido en un efluente industrial, el carbón activado que presentó mejores capacidades adsorptivas. Los carbones activados preparados presentaron altas áreas superficiales de hasta 650,7 m<sup>2</sup>/g, capacidad de adsorción de hasta 78 mg Pb/g carbón activo, el pH fue el parámetro que



mayor influencia tuvo en la adsorción de plomo, se logró remover el 99,8% del Pb (II) y Zn contenido en las aguas residuales de la mina San Ignacio.

Uechi, (2016). Determinó que, para la adsorción de cromo solo los carbones tratados con  $\text{HNO}_3$  y con  $\text{H}_2\text{O}_2$  mejoraron la capacidad de adsorción del carbón activado. Sin embargo, con estos mismos carbones, la funcionalización no fue tan efectiva para la adsorción de Cd (II). La funcionalización del carbón con HCl y con NaCl no resultó adecuada para la adsorción de ninguno de estos metales. Por otro lado, cuando se cambió el adsorbato por un compuesto orgánico como el 4-nitrofenol, se observó un ligero aumento en la capacidad de adsorción con el carbón activado funcionalizado con NaCl, indicando que el tipo de modificación que se aplique al carbón activado depende también de la naturaleza del adsorbato que se quiera investigar.

Los factores que pueden influir en la retención del adsorbato, determinaron que la adsorción es mejor a  $\text{pH} = 5$  y a bajas temperaturas ( $10^\circ\text{C}$ ). Los resultados cinéticos en la gran mayoría de los carbones modificados presentan el mejor ajuste con el modelo segundo orden, lo que indica que el proceso de adsorción depende de la disponibilidad de los sitios de adsorción.

Aguirre, (2017). Determinó que en los ensayos de adsorción se utilizó 2 g de carbón activado y que se pusieron en contacto con 500 ml de solución acuosa de plomo y arsénico en un tiempo de agitación de 2 horas y 300 0rpm de velocidad, permitiendo obtener carbones activados con capacidad de adsorción de metales pesados como Pb(II) y As(V); removiendo el 98,7 % Pb(II) y el 70,3% de As(V) en soluciones acuosas en un tiempo de agitación de 75 a 120 minutos y a un pH tendiente a ácido de 4,97 y 5,6. Los carbones activados resultantes presentan una alta efectividad en la adsorción de metales pesados en soluciones acuosas.



Cárdenas, (2016). Optimizó el proceso de desorción, con una eficiencia del 98.82% (Balance total) en un tiempo de 34 horas, a una concentración de NaOH al 1.5%, NaCN al 0.15% y C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH al 18% en la solución eluyente, lográndose la optimización del proceso de desorción, con una alta eficiencia del 98.79% en un tiempo de 40 horas, a una concentración de NaOH al 1.5%, NaCN al 0.15% al 15% en la solución eluyente, por lo cual se establece que la variable más significativa de la solución eluyente o desorvedora es el % de Alcohol Etilico en el sistema de desorción. Estableció una técnica adecuada para la reactivación química del carbón con el empleo de un lavado con agua por 1 hora previa al uso del agente químico, adición de la solución reactivante con relación de: 1:1.5 (1 parte de material carbonaceo, y 1.5 de solución reactivante) y el lavado con agua posterior por 30 min. Obtiene una eficiencia del 94.07% de reactivación química usando una solución de Ácido Clorhídrico al 3%, con un tiempo de agitación de 3 horas.

Barreto, (2013). Obtuvo carbón activado a partir de la pepa de aceituna con dos agentes activantes químicos diferentes (Ácido fosfórico y Cloruro férrico), el cual se determinó en función a la naturaleza de los contaminantes a tratarse (Plomo y Arsénico); el precursor, se impregnó con el agente activante seleccionado a diferentes relaciones de agente activante/precursor, por un tiempo de 24 horas, secándose en estufa a la temperatura de 110°C por tres horas y calcinándose a las temperaturas de 400, 500 y 600 °C por un tiempo de una hora. Los ensayos de adsorción de plomo se realizaron en un sistema batch en cada caso se utilizó 0,50 g de carbón activado que se pusieron en contacto con 500 mL de solución contaminada con 2mg/L de (plomo y/o arsénico) a temperatura ambiente (20°C), ajustándose la solución a un pH = 4.00, seguidamente se colocó en un agitador múltiple a 300 rpm por un tiempo de tres horas, finalizada la etapa de adsorción las fases fueron separadas por filtración y analizadas. La activación del





hueso de la aceituna con agentes activantes químicos como el  $H_3PO_4$  y  $FeCl_3$  permiten obtener carbones activados con capacidad de adsorción de metales pesados, logrando remover el 80 % Pb (II) y el 67,50 % de As (V) en soluciones acuosas.

Vera & Morocho, (2015). Evaluó la adsorción de plomo y mercurio con carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz. Preparó carbones activados por el método de activación química utilizando ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), en una relación de impregnación de 1:5 por un tiempo de una hora; a la temperatura de carbonización de  $450^\circ C$  por el lapso de 27 minutos. Los ensayos de adsorción se realizaron utilizando 0.5 g de carbón activado que se pusieron en contacto con 500 ml de solución acuosa de plomo y mercurio a distintas concentraciones (1, 3, 5, 7, 9 ppm y 10, 20, 30, 40, 50 ppm respectivamente) en condiciones de temperatura ambiente, seguidamente se colocó en agitación a 120 rpm durante 4 horas, controlando un pH de 4 - 5. Los análisis de la concentración final de plomo y mercurio se realizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica. Se llegó a obtener porcentajes de adsorción de 90,6% y 91,5% de plomo y mercurio respectivamente. Los resultados de las isothermas se correlacionaron mejor con el modelo de Freundlich.

Apaza, (2015). Aplicando el proceso de precipitación alcalina y utilizando hidróxido de calcio e hidróxido de sodio, los resultados más relevantes obtenidos en esta investigación se dieron a partir de las variables de operación planteados para el diseño experimental de superficie de respuestas: pH (9,77) para  $Ca(OH)_2$  y (8,92) para NaOH, respecto a la velocidad de mezcla (40 rpm) para ambos hidróxidos y para la velocidad de agitación (20 minutos) para ambos hidróxidos, con estas variables se logró una eficiencia de remoción Pb (99,10%), Zn (99,50%) utilizando  $Ca(OH)_2$  y Pb (98,55%), Zn (99,06%) con NaOH.



Mojica, et al., (2013). Determinó que los carbones activados químicamente tienen mayor área superficial aparente (1858 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) y mayor contenido de sitios ácidos en la superficie (0,135 meq g<sup>-1</sup>). También fueron determinadas las entalpías de inmersión en ácido y base por calorimetría de inmersión, encontrando una buena correlación entre los grupos superficiales presentes en cada muestra y la entalpía de inmersión de los carbones activados. Finalmente, se estudió la capacidad de adsorción de fenol sobre los carbones activados. Se encontró que los carbones activados químicamente tienen mayor capacidad de adsorción, con un valor de 128 mg g<sup>-1</sup> respecto a las muestras activadas físicamente con un valor de 89,70 mg/g. Sintetizó y caracterizó los carbones activados provenientes de cascara de semillas de Eucalipto (*Eucalyptus glóbulos*), empleando activación química con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> como agente deshidratante y activación física con CO<sub>2</sub> como agente oxidante. Los carbones se caracterizaron texturalmente mediante isothermas de adsorción de nitrógeno a 77K, y mediante el método del área aparente, B.E.T. y el método de Dubinin Radushkevich, también caracterizó las muestras químicamente realizando titulaciones de Boehm, espectroscopia infrarroja y pH en el punto de carga cero.

Lavado, *et al.*, (2010). Determinaron la capacidad de adsorción hasta 142,1 mg Pb/g, Se lográndose remover el 99,9% del plomo contenido en un efluente industrial con carbones activados a partir de astillas de eucalipto (*eucalyptus glóbulos* Lábil), mediante activación química usando como agente activante al ácido fosfórico. Estudio la influencia de los siguientes parámetros de activación sobre la adsorción de plomo: razón de impregnación (agente activante (g)/precursor (g)) y temperatura de activación. Los materiales obtenidos se caracterizaron mediante adsorción de N a -196 C, SEM y FTIR. Se estudiaron los parámetros que afectan el proceso de adsorción de plomo: tiempo de contacto, razón masa de carbón/volumen de la solución, temperatura y pH



Sun-Kou, et al., (2014). Determinaron que la máxima capacidad de adsorción se logró utilizando el carbón activado AG0, 75\_600 con soluciones con un pH mayor a 4; los valores obtenidos estaban en el siguiente orden: plomo (74,8 mg g<sup>-1</sup>), cadmio (26,5 mg g<sup>-1</sup>), cromo (18,8 mg g<sup>-1</sup>). Los factores más importantes que influyen en el proceso de adsorción fueron el pH de la solución, la estructura porosa y la acidez superficial del carbón activado. Emplearon la semilla de aguaje como un material precursor para la preparación de carbón activado usando ácido fosfórico como agente activante en dos concentraciones diferentes: 0,75 y 1,0 g /g. Las propiedades del H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> precursor fisicoquímico, se estudiaron mediante mediciones de adsorción de nitrógeno, titulación Boehm, microscopía electrónica de barrido y espectroscopia de rayos X por energía dispersiva. Los carbones activados se utilizaron en la adsorción de tres metales pesados: plomo, cadmio y cromo.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Recuperación de zinc del río Huancané por el método de adsorción con carbón activado

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las condiciones de utilización del carbón activado para recuperar zinc.
- Definir la tecnología propuesta, dando a conocer los parámetros óptimos de pH y tiempo adsorción para recuperar el zinc.
- Determinar el modelo matemático para el proceso de recuperación de zinc.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. Carbón activado

El carbón activado es un material de carbón que se preparan en la industria, el objetivo es que tenga una elevada superficie interna y poder adsorber (retener sobre su superficie) una gran cantidad de compuestos muy diversos, tanto en disolución como en fase gaseosa. Afenya, (1991)

El carbón activado (CA) es una sustancia de amplio uso en la industria debido a que es un material con excelentes propiedades adsorbentes. Este material se caracteriza por poseer una alta superficie interna, variedad de grupos funcionales y una buena distribución de poros, propiedades que le permiten atrapar una gran diversidad de moléculas. Padrón, et al., (2013)

Los carbones activados son materiales porosos con una gran área superficial interna, se usan en variedad de aplicaciones industriales como la separación y purificación de líquidos y gases; así como, la eliminación de sustancias tóxicas, entre otras. Henning & Schafer, (1993)

Las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado son:

- Elevada capacidad y baja selectividad de retención. La capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, la porosidad y distribución de tamaños de los poros juegan un papel importante. Los micro poros (tamaño inferior a 2 nm) le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mezo poros (tamaño comprendido entre 2-50 nm) y



macro poros (tamaño  $>50$  nm) son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y para favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido.

- Tiene escasa especificidad ante un proceso de retención, es un adsorbente “universal”. No obstante, por su naturaleza apolar y por el tipo de fuerzas implicadas en el proceso de adsorción, retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular (hidrocarburos, fenoles, colorantes etc.), mientras que sustancias polares como el nitrógeno, oxígeno y agua prácticamente no son retenidas por el carbón a temperatura ambiente. Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no dependen únicamente de la superficie y porosidad. En particular, las sustancias polares se retienen débilmente sobre la superficie (apolar) del carbón.

Cuando la sustancia a eliminar tiene una polaridad apreciable, bajo volumen molecular y está muy diluida en aire, la retención a temperatura ambiente por el carbón solo es efectiva si se impregna con reactivos específicos o se aprovechan las propiedades catalíticas del carbón. De esta manera, tras la adsorción se producen unas reacciones químicas que transforman los productos tóxicos en inertes que se adsorben o quedan retenidos en la porosidad del carbón. Mohanty, *et al.*, (2005)

## **2.1.2 Clases de Carbón Activado**

### **2.1.2.1. Carbón activado granular**

Este carbón activado es un tipo de carbón amorfo que se produce al calentar madera u otro material orgánico en ausencia de aire. Su estructura es micro porosa y esta característica lo hace absorber moléculas orgánicas tanto gaseosas como las disueltas en los líquidos.



En los procesos de purificación de las aguas sirven para eliminar las sustancias orgánicas disueltas que producen olor y color.

En el mercado existen dos tipos de carbón activado granular que son, los de lignito, que es sintético y producido de sustancias bituminosas; y las de coco, hechos a partir de la madera del árbol de coco. Mohanty, *et al.*, (2005)

#### **2.1.2.2. Carbón activado pulverizado**

El carbón activado pulverizado, se caracteriza por tener tamaños de gránulos comprendidos de 140 a 200 mallas ASTM, el tamaño no debe ser demasiado pequeño para no interferir en otras etapas del proceso, deben ser altamente porosos, relativamente blandos y deben poseer poros grandes. Los buenos carbones pulverizados son empleados como decolorantes debido a que estos carecen de estructura definida y en especial son usados en fase líquida.

Existen varios materiales para obtener carbón activado, en la tabla 1, se puede observar éstos. Mohanty, *et al.*, (2005)

#### **2.1.3. Estructura y propiedades del carbón activado**

El carbón activado es utilizado para remover metales pesados, color, olor y sabor de una infinidad de productos, encontrándose en aplicaciones tan sencillas como peceras o filtros de refrigerador, colorantes en la industria textil, plantas de tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos. (Barreto, 2013)

Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado:

- Elevada capacidad y
- Baja selectividad de retención.

Es un adsorbente “universal” por su naturaleza apolar y por el tipo de fuerzas implicadas en el proceso de adsorción, retiene preferentemente moléculas apolares y de



alto volumen molecular. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee. En general, los microporos le contienen la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido. Rodríguez & Molina, (2012)

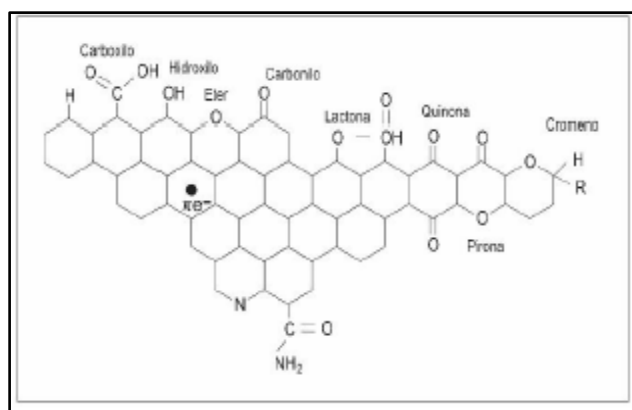
Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no dependen únicamente de la superficie y la porosidad. En particular, las sustancias polares se retienen débilmente sobre la superficie (apolar) del carbón. En estos casos, la fijación del carbono de ``heteroátomos`` principalmente oxígeno e hidrógeno, formando estructuras o grupos funcionales tipo ácido carboxílico, lactosas, carbonilo, etc., elevan la afinidad de las sustancias polares por la superficie de adsorbente y pueden imprimir un carácter ácido-base al carbón. Rodríguez & Molina, (2012)

#### **2.1.4. Composición química del carbón activado (árbol de coco)**

La idea de carbón activado otorga un amplio rango de materiales que se diferencian particularmente en las dimensiones granulométricas y en su estructura interna (poros y superficie específica). La composición química del carbón activado es aproximadamente de un 70-80% de C, del 5 al 10% de cenizas, del 60% de oxígeno y 0,5% en hidrógeno. Dicha composición química del carbón activo es prácticamente pura, al igual que lo es el grafito, el diamante y los diversos carbones minerales o de leña. Perdomo, (2014).

Todos ellos tienen la propiedad de adsorber, la misma que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que se encuentran contenidas en un medio líquido o gaseoso. Los grupos funcionales se forman durante el proceso de activación por

interacción entre los radicales libres de la superficie del carbón que hacen que la superficie del carbón se haga químicamente reactiva y es la razón por la que afecta las propiedades adsorbentes, especialmente para moléculas de cierto carácter polar. Así, el carbón activado puede ser considerado en principio como hidrófobo, por su poca afinidad al agua, lo que es muy importante en aplicaciones de adsorción de gases en presencia de humedad, o de especies en disolución acuosa; pero las presencias de grupos funcionales en su superficie hacen que puedan reaccionar con el agua, haciendo que la superficie sea más hidrófila. Las oxidaciones de un carbón producen la formación de grupos hidroxilo ( $OH$ -), carbonilo ( $RCHO$ ), carboxilo ( $RCOOH$ ), etc., que le dan al carbón un carácter anfótero, esto es, carácter ácido y básico, a la vez. Esto influye en la adsorción de moléculas. Luna, et al., (2007)



**Figura 1.** Estructura de los grupos funcionales de oxígeno en la superficie de un carbón

**Fuente:** Rodríguez, (2007)

### 2.1.5. Composición física

El carbón activado posee una estructura microcristalina que es en gran medida similar a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbono activado da razón a una distribución de poros de tamaños bien determinados. Así, se pueden distinguir tres tipos de poros según su radio: macroporos ( $r > 25$  nm), mesoporos ( $25 > r > 1$  nm) y microporos ( $r < 1$  nm). Perdomo, (2014)



### 2.1.6. Características físicas del carbón activado

En la Tabla N° 1 se presentan las propiedades físicas del carbón activado.

**Tabla 1.** Características físicas del carbón activado.

Propiedad	Valor
Largo del cilindro (*)	5,6mm
Diámetro del cilindro (*)	3mm
Volumen de poros	0,43-0,47(cm <sup>3</sup> /grs.)
Superficie específica total	900-950(m <sup>2</sup> /grs.)
Densidad real	1,104(grs./cm <sup>3</sup> )
Mesoporos	3-5%
Microporos	95-97%

**Fuente:** DE Montreuil "Mineralogía de Oro y su relación con el Tratamiento Metalúrgico" 1984.

(\*) Valores promedio

### 2.1.7. Influencia de la porosidad en la adsorción en fases gas y líquida

Una forma simple de seleccionar un carbón activado para su uso en procesos de eliminación de gases apolares (p.e. hidrocarburos) o de sustancias disueltas (p.e. fenoles) es cuantificando su superficie. En general, una mayor superficie conlleva mayor capacidad de retención de contaminantes, y la forma de aumentarla es prolongando el nivel o grado de activación (cuantificado a través del porcentaje de carbono perdido durante el proceso o porcentaje de quemado). Rodríguez & Molina, (2012)



### **2.1.8. Influencia de la naturaleza química en la adsorción en fases gas y líquida**

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no dependen únicamente de la porosidad. Puesto que la superficie del carbón es no polar, la capacidad de retención de moléculas polares en fase gas es limitada. Para incrementarla, es necesario introducir grupos superficiales que favorezcan las interacciones específicas con la sustancia a retener. Por ejemplo, con reactivos oxidantes se aumenta el contenido de oxígeno, con amoníaco el contenido en nitrógeno, con sulfuro de carbono el azufre, etc. Rodríguez & Molina, (2012)

### **2.1.9. Aplicaciones del carbón activado**

- Tratamiento terciario de aguas residuales y tratamiento de aguas servidas.
- Tratamiento de agua en procesos industriales, como por ejemplo en la industria química,
- industria alimentaria y farmacéutica.
- Potabilización de aguas.
- Tratamiento de emisiones atmosféricas.
- Purificación de aire y gases.

La aplicación de carbón activado constituye un tratamiento terciario y tiene por propósito, obtener una calidad de efluente mejor que la conseguida en los tratamientos primarios y secundarios convencionales. Su aplicación se realiza en lechos empacados, tipo columnas, cargados con gránulos del material adsorbente (carbón activado) y se bombea, a través del filtro empacado, el efluente a tratar. A medida que el agua fluye a través de la columna, los químicos se adsorben a la superficie porosa de los gránulos. Cuando la superficie disponible del carbón activado se llena de químicos, se dice que el carbón está gastado. Este carbón gastado debe reemplazarse o limpiarse para permitir que el filtro se reutilice. La limpieza del carbón gastado comprende el calentamiento del



carbón y el bombeo de aire limpio a través del mismo. El calor suelta los químicos del carbón, y el aire los expulsa de la columna. Bansal & Goyal, (2005)

#### **2.1.10. Metales pesados**

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles, como, por ejemplo, el plomo que se utiliza mucho para tubería, y el zinc. Hablando ya de la contaminación, los metales pesados tienen efectos en la salud y afectan diferentes órganos. Diez, (2008)

Entre los metales hay elementos esenciales y no esenciales para los seres vivos, aunque el límite entre estos dos grupos no está claramente delimitado y la lista de elementos biológicamente importantes aumenta con el tiempo. Normalmente se reconocen como elementos esenciales al Fe, Mn, Zn, Cu, Co y Mo, como elementos benéficos al Ni y Cr, y se considera que no tienen ninguna función biológica elementos como el Cd, Hg, Pb y As. Los efectos toxicológicos de los metales hacia los humanos, particularmente de Cd, Zn, Hg, Pb y de metaloides como el As, que representan alguno de los más peligrosos, han sido bien documentados y existen referencias donde se puede obtener información al respecto de estos metales. Diez, (2008)

#### **2.1.11. Importancia del análisis de los metales pesados**

La contaminación en los ríos se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Uno de los componentes químicos potencialmente más tóxicos son los metales pesados, y entre ellos Sb, As, Mn, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Sus efectos tóxicos de



los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque sí puede haber una incidencia muy importante a mediano y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. Valencia, (2000)

#### **2.1.12. Contaminación de aguas superficiales por metales pesados**

Los metales pesados tienen tendencia a formar asociaciones, con sustancias

Minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, formación de combinaciones químicas, etc., por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares. Estos elementos por otra parte, pueden pasar fácilmente de fases sólida y líquida de los sistemas acuáticos y viceversa, debido tanto a variaciones de los componentes bióticos como abióticos, lo que hace que los sedimentos no sean compartimentos estancos de metales.

Las altas concentraciones de metales pesados en las aguas de corrientes fluviales asociados a sulfuros tales como el As, Mn, Cd, Cu, Pb y Zn pueden atribuirse a la minería y son causa del fuerte impacto en el medio ambiente. En cambio, otros metales no-sulfurosos como el Cr, Ni y Hg posiblemente indican una contaminación antropogénica de metales pesados que están estrechamente asociados con las descargas industriales. Valencia, (2000).

#### **2.1.13. Toxicidad y Bioacumulación de los metales pesados y los factores que la modifican**

El grado de toxicidad potencial y la biodisponibilidad que un metal pesado presente en un ambiente dado depende de una serie de factores que, si bien están muy interrelacionados, se pueden clasificar en dos grupos: Arboleda, (2000)



### 2.1.13.1. Factores Abióticos

Las cuales se dividen a su vez en dos subgrupos: Factores inherentes al metal, entre los que se encuentran la naturaleza del metal,

a) Su abundancia de disponibilidad en el medio, su estado molecular específico y su tiempo de permanencia en el sistema. La toxicidad depende en primer lugar de la propia naturaleza del metal y de su disponibilidad en el ambiente. Atendiendo a estos dos factores Wood (1974) clasificó los metales en tres categorías:

- No crítico: Na, K, Mg, Ca, H, N, C, P, Fe, S, Cl, Br, F, Li, Rb, Sr, Si, Mn y Al\*. \*El aluminio es tóxico para la biota, tanto terrestre como acuática, cuando se moviliza a un pH bajo (Förstne, 1993).
- Tóxicos pero muy insolubles: Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, Os, Rh, Ir, y Ba.
- Muy tóxicos y relativamente disponibles: Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cr, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Sb y Bi.

e) Factores físico-químicos ambientales, principalmente el pH, potencial redox, presencia de iones inorgánicos (tanto aniones, como cationes), existencia de minerales de arcilla e hidróxidos metálicos, cantidad de materia orgánica, temperatura, contenido de oxígeno, etc. Todos los factores inherentes al metal son modificables por factores fisicoquímicos ambientales. Factores bióticos El comportamiento de los metales no depende solo de parámetros fisicoquímicos, si no que se ve afectado por factores biológicos que intervienen en la solubilización e insolubilización de elementos inorgánicos, alteración de minerales y formación de depósitos Valdez, (2007)

La toxicidad de los metales pesados en los sistemas acuáticos está condicionada de forma importante a su vez por:

a) El grado de bioasimilación y por los mecanismos de defensa que esgriman los organismos frente a los metales.

b) La acción que la propia biota pueda ejercer sobre su especie química.

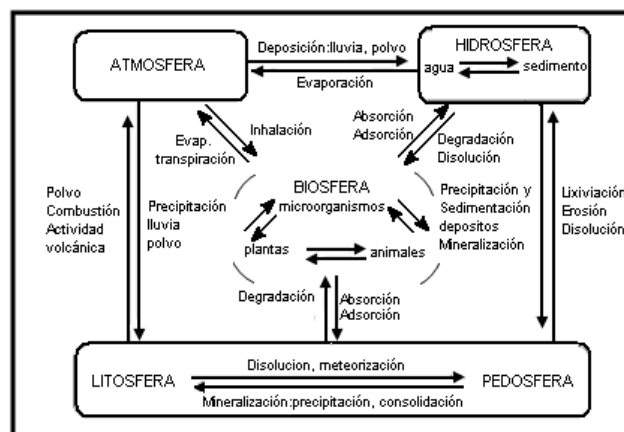
### 2.1.13.2. Vías de entrada y origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos

Los metales tienen tres vías principales de entrada en el medio:

a) **La vía atmosférica**, se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos (principalmente combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales).

b) **La vía terrestre**, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, utilización de lodos como abono, lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, etc.) y otras causas naturales.

c) **La vía directa**, de entrada, de metales es a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales.



**Figura 2.**Ciclo biogeoquímico general de los metales pesados

**Fuente:** Valdez, (2007)

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) los metales pesados son introducidos como resultado de la acción de procesos naturales y



antropogénicos. Por ello, vamos a distinguir entre un origen natural de metales pesados y otro antropogénico. Valdez, (2007)

#### **2.1.14. Origen antropogénico**

Se entiende por contaminación de origen antropogénico la procedente de la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. El uso de los metales pesados ha ido aumentando paralelamente al desarrollo industrial y tecnológico. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados en: industriales, agrícolas, ganaderos, domésticos y mineros. Ramírez, (2013)

#### **2.1.15. Origen natural**

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer grado de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo.

La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales (niveles de fondo) de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota).

**Tabla 2.** Concentraciones de metales pesados en varios tipos de rocas (mg/g)  
**Fuente:** (Panczner, 1987).

ELEMENTOS	ROCAS			
	GRANITICAS	ARCILLAS	ARENISCAS	CARBONATOS
<b>Antimonio</b>	0,20		0,20	0,20
<b>Arsénico</b>	1,90	1,00	9,70	8,10
<b>Cadmio</b>	0,13	13,00	0,02	0,04
<b>Cobre</b>	30,00	0,42	15,00	4,00
<b>Cromo</b>	22,00	250,00	35,00	11,00
<b>Mercurio</b>	0,08	0,02	0,03	0,04
<b>Plomo</b>	15,00	80,00	7,00	9,00
<b>Zinc</b>	60,00	165,00	16,00	20,00

#### 2.1.16. Zinc

Al zinc no se le atribuye nivel de clasificación de riesgo para el agua, puesto que no supone un gran peligro. No obstante, esto sólo se refiere al zinc elemental, ya que algunos derivados del zinc, como arsenato de zinc y cianuro de zinc, pueden ser extremadamente peligrosos.

El zinc es un mineral alimenticio para seres humanos y animales. La ingestión de cantidades excesivas de zinc puede perjudicar la salud de ambos, por encima de cierto nivel resulta ser tóxico. La toxicidad suele ser baja para animales y personas, pero no debe descartarse la fitotoxicidad. Pérez, *et al.*, (1984).

El lodo que proviene de las plantas de tratamiento de aguas residuales se aplica en agricultura, horticultura y silvicultura, y por lo tanto las concentraciones de zinc no deben sobrepasar los límites de 3 g/kg.

Las pruebas eco toxicológicas establecen como niveles de zinc disuelto, concentraciones de 50 µg/L PNEC, es decir concentraciones totales de 150-200 µg/L de zinc en agua. Este valor PNEC representa la concentración máxima con la cual no se producen efectos en el medioambiente (Predicted No Effect Concentration).





Un total de cinco isótopos del zinc están presentes en la Naturaleza de forma estable, entre ellos se encuentran  $64\text{Zn}$ ,  $66\text{Zn}$  en  $68\text{Zn}$ . Además, se conocen otros quince isótopos del zinc inestables. El  $65\text{Zn}$  se presenta los refrigerantes de reactores nucleares, y también se aplica en medicina. Pérez, *et al.*, (1984).

#### **2.1.16.1. Efectos del Zinc sobre la salud**

El zinc es una sustancia muy común que ocurre naturalmente. Muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de zinc. El agua potable también contiene cierta cantidad de zinc. La cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal.

Las fuentes industriales o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa del zinc en el agua potable llegando a niveles que causan problemas.

El zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe demasiado zinc estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Pequeñas llagas, y erupciones cutáneas. La acumulación del zinc puede incluso producir defectos de nacimiento.

Incluso los humanos pueden manejar proporcionalmente largas cantidades de zinc, demasiada cantidad de zinc puede también causar problemas de salud eminentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios. El zinc puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién nacidos. Cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de zinc los niños pueden ser expuestos a éste a través de la sangre o la leche de sus madres. Ramalho, (2003).



### 2.1.17. Propiedades físicas-químicas del zinc

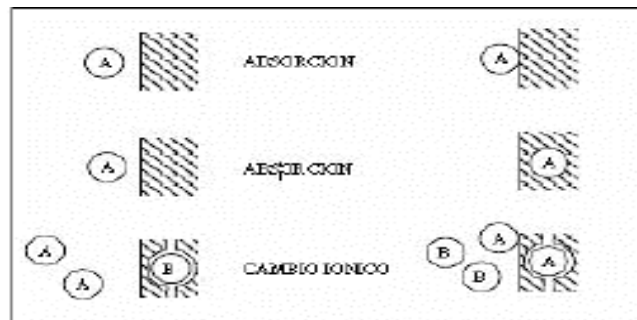
Nombre	Zinc
Número atómico	30
Valencia	2
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,6
Radio covalente (Å)	1,31
Radio iónico (Å)	0,74
Radio atómico (Å)	1,38
Configuración electrónica	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
Primer potencial de ionización (eV)	9,42
Masa atómica (g/mol)	65,37
Densidad (g/ml)	7,14
Punto de ebullición (°C)	906
Punto de fusión (°C)	419,5

**Fuente:** Ley de los Recursos Hídricos: Ley N° 29338

### 2.1.18. Adsorción

Adsorción es un proceso mediante el cual la materia de una fase se concentra sobre la superficie de otra fase; la sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se le denomina "adsorbente" y a la molécula atrapada, "adsorbato". La unión entre el adsorbente y el adsorbato se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de van der Waals. (Adsorción física fisisorción) o puede ser resultado de procesos de carácter químico (adsorción química o Quimisorción). La diferencia fundamental entre ambas es que en el caso de la fisisorción la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, mientras que durante la quimisorción la

especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación, dando lugar a una especie distinta. Martínez (1990)



**Figura 3.** Procesos de adsorción e intercambio iónico

**Fuente:** Agorube, (2008)

La adsorción es determinada experimentalmente midiendo cuanto soluto puede ser adsorbido por un sedimento, suelo, roca u otro material. Las cargas que presentan las arcillas pueden ser: cargas permanentes o variables. Las cargas permanentes dependen de la estructura del mineral, son independientes del medio, se deben a sustituciones isomórficas y su magnitud dependerá si esta sustitución se encuentra en la capa tetraédrica o en la octaédrica. Las cargas variables son aquellas por roturas en los bordes y en los grupos funcionales y dependen de las condiciones del pH. Sepúlveda, et al., (2008).

### **2.1.19. Factores que influyen en el proceso de adsorción**

Los procesos aparentemente pueden ser relativamente simples, pero puede hacerse complicada debido a que el soluto o adsorbente puede cambiar químicamente, dado que su concentración en la solución está en función al pH y tanto la molécula no disociada como el ion disociado pueden ser adsorbidos. La química de la superficie depende esencialmente del contenido de heteroátomos principalmente del contenido de oxígeno, estos determinan la carga de la superficie, su hidrofobicidad y la densidad electrónica de las capas. Cuando el carbón activado se sumerge en una solución acuosa,



se desarrolla una carga superficial que proviene de la disociación de los grupos de superficie la que depende del pH y de las características superficiales del carbón.

En el proceso de adsorción intervienen las propiedades de los compuestos que se requiere extraer, las características del adsorbente y las condiciones de contacto entre las fases fluida y sólida. Propiedades del adsorbato tales como peso molecular, concentración, grupos funcionales, solubilidad en el líquido, al igual que las propiedades del sólido adsorbente (tales como distribución de tamaño de poros y los grupos químicos de superficie entre otras) son determinantes en la mayor o menor afinidad del adsorbato por el sólido adsorbente. Colina, (2012)

### **2.1.20. Influencia del pH en el proceso de adsorción**

Los factores que influyen los procesos de adsorción son el pH de la solución y la fuerza iónica. El pH es un factor que controla los procesos de adsorción de electrolitos orgánicos, débiles y poli electrolitos, debido a que controla las interacciones electrostáticas entre el adsorbente y el adsorbato. Por lo tanto, el pH de la solución determina la carga de la superficie del carbón y la disociación o protonación del electrolito. Alami, (2010)

Asimismo, el pH de la solución controla la disociación o la ionización de los electrolitos a través de su pK. Los electrolitos ácidos se disocian a  $\text{pH} > \text{pKa}$ . Por lo tanto, el pH de la solución controla interacciones electrostáticas adsorción-adsorbente, que tienen efectos profundos en el proceso de adsorción. Estudios realizados de adsorción de Cu, Pb y Ni en carbón activado en intervalo de pH de 2 a 9 encontraron que el Cu se adsorbe a un pH de 2,5 a 5,0; precipitando a un pH de 6,0; el Pb de 3 a 4 precipitando a un pH de 7,0 a 8,0 y el Ni a un pH amplio de 4 a 9 a partir de este pH empieza a precipitar.



Proponiendo un mecanismo de adsorción en función al pH basado en el intercambio de protones del carbón activado con iones metálicos. Alami, (2010)

### **2.1.21. Naturaleza del adsorbente**

La adsorción constituye uno de los sistemas más utilizados, dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales, se emplea generalmente para retener contaminantes de naturaleza orgánica, (compuestos fenólicos, hidrocarburos aromáticos, derivados clorados, sustancias coloreadas y otros que comunican olor y sabor al agua.

Los adsorbentes más utilizados son: gel de sílice, alúmina, carbón activo y resinas sintéticas; donde el carbón activado es uno de los adsorbentes más utilizado en el tratamiento de efluentes industriales procedentes de la fabricación de pesticidas.

El adsorbente- adsorbato depende de la superficie específica y porosidad del sólido, tamaño de partícula, estructura y distribución de los poros. En general, la etapa de adsorción es muy rápida, siendo determinante el tamaño de partícula del adsorbente y el diámetro del poro. El carbón activado, es un compuesto covalente y por lo tanto, muestra preferencia por moléculas covalentes; es decir, por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares, por lo que se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas. Alami, (2010)



**Figura 4.** Diferentes formas de adsorbentes de carbón

**Fuente:** Nyer, (2009)

#### 2.1.22. Tipos de carbones según la materia prima

Los factores a tener en cuenta para elegir un precursor adecuado son: Una buena disponibilidad, bajo costo, bajo contenido en materia mineral y que el carbón resultante posea unas buenas propiedades mecánicas y capacidad de adsorción. Los residuos de madera, las cascaras de coco y frutos secos, así como las semillas de algunas frutas junto con los carbones minerales y el coque de petróleo, son los precursores más usados. Los carbones activados obtenidos industrialmente pueden provenir de madera y residuos forestales u otros tipos de biomasa, turba, Lignito y otros carbones minerales como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas. Barreto, (2013).

**Tabla 3.**Tipos de carbón activado según la materia prima

<b>Propiedades</b>	<b>coco</b>	<b>Carbón bituminoso</b>	<b>Lignita</b>	<b>madera</b>
<b>Microporoso</b>	Alto	Alto	Mediano	Bajo
<b>Macroporo</b>	Bajos	Mediano	Altos	Altos
<b>dureza</b>	Alta	Alta	Baja	Mediana
<b>cenizas</b>	5%	10%	20%	5%
<b>Cenizas</b>	Alta	Bajas	Altas	Medianas
<b>Soluble en Agua</b>				
<b>Densidad Aparente</b>	0,48 g/mL	0,48 gmL	0,30 g/mL	0,30 g/mL
<b>Regeneración</b>	Buena	Buena	Pobre	Regular

**Fuente:** Marlon, (2009)

Los materiales orgánicos con proporciones relativamente altas de carbono son susceptibles de ser transformado en carbón activado. Desde un punto de vista estructura los carbones activados son carbones muy desordenados e isótropos. Por tanto, no serán adecuados para preparar carbones activados aquellos materiales carbonosos que pasen por un estado fluido durante su carbonización; dado que durante la solidificación de esta fase suelen formarse estructuras ordenadas en los carbones resultantes. (Barreto, 2013)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La Provincia de Huancané se encuentra ubicada al nor-este del lago Titicaca a 3 825 m.s.n.m.; su posición geográfica es Latitud Sur 15°00'18" Latitud Oeste 69°40'51" y la población total es de 80 317 habitantes.

La muestra contaminada con zinc se tomó del río Huancané de la ciudad de Huancané.



**Figura 5.** Ciudad de Huancané



**Figura 6.** Rio Huancané

El presente trabajo de investigación se ejecutó en el Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA – Puno.

#### **Ubicación:**

Provincia : Puno

Departamento : Puno

Dirección : Av. Sesquicentenario N° 1150

Los análisis se realizaron en la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnologías de la Universidad Católica de Santa María-Arequipa.





## **3.2 MATERIALES**

### **3.2.1 Materia Prima**

Aguas del rio Huancané de la ciudad de Huancané, aguas contaminadas con metales pesados con iones de zinc.

### **3.2.2 Materiales y equipo**

- Vasos de precipitados de 250 y 500 ml.
- Matraces Erlenmeyer de 250 y 500ml.
- Baguetas.
- Mortero de Ágata.
- Pipetas de 50, 10 y 5 ml.
- Probetas de 100 y 50 ml.
- Propipeta.
- Embudos de vidrio.
- Soporte de embudo.
- Magneto 2
- Papel filtro Whatman N° 42.
- Cooler
- Envases de polietileno
- Cronometro

### **Protocolos de seguridad**

- Mandil de laboratorio (bata de laboratorio)
- Mascarilla quirúrgica
- Guantes látex
- Botas



### 3.2.3 Reactivos

- Carbón activado granular, a partir de árbol de coco (adsorbente).
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (0,1M) hidróxido de calcio
- $\text{HNO}_3$  (0,1M) ácido nítrico
- $\text{H}_2\text{O}$  destilada
- Alcohol

### 3.2.4 Equipos e instrumentos

- pHmetro digital de calibración marca HANNA INSTRUMENTS, HI 9321  
MICROPROCESADOR, sensibilidad 0,1
- Espectrofotómetro de absorción atómica ANALYST T – 100
- Agitador magnético STIRRER TYPE OP-9/2/3
- Balanza analítica.
- Termómetro digital.

## 3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La parte experimental se realizó de acuerdo a las siguientes experiencias:

1. Técnicas de muestreo
  2. determinación del agua del río Huancané contaminado con zinc.
  3. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos
- Determinar las condiciones de utilización del carbón activado granulado comercial para recuperar zinc.
  - Definir la tecnología propuesta, dando a conocer los parámetros óptimos de pH y tiempo de adsorción para la recuperación de zinc.
  - Determinar el modelo matemático para el proceso de recuperación de zinc.



### **3.3.1. Técnicas de muestreo**

Las diferentes muestras se efectuaron en la ciudad de Huancané de acuerdo a lo siguiente:

#### **a. Muestreo de las aguas del río Huancané de la ciudad de Huancané**

Se han tomado muestras de aguas del río Huancané el 30 de agosto de 2021 en un punto fijo a una coordenada de 15°06'06.5"S y 69°48'06.0"W (del puente río Huancané, 2km. aprox. ríos arriba) a una profundidad 50 cm. Para los análisis químicos se colectaron un total de 7 muestras, para cada una se colectó 200 ml. en envases de polietileno, posteriormente se trasladó en un cooler, conservándose en refrigeración para su traslado al Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA – Puno, para la ejecución correspondiente.

### **3.3.2. Caracterización del agua del río Huancané contaminado con zinc.**

Esta parte de la metodología se basó en caracterizar la muestra de las aguas del río Huancané, propiedades físicas y químicas tales como:

- Calidad de agua según dispositivos legales
- Análisis químico para ver las cantidades de Zn de acuerdo a la Ley General de Aguas D.L. N° 17752 y sus modificaciones al reglamento según el Decreto Supremo 004-2017-MINAM.

#### **a. Análisis químicos de las aguas residuales del río Huancané**

De acuerdo al análisis químico efectuado en las aguas del río Huancané, la cantidad de zinc supera los límites máximos permisibles



## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### 3.3.3. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA LA RECUPERACIÓN DE ZINC PROVENIENTE DE LAS AGUAS DEL RIO HUANCANÉ

Esta parte de la metodología se basó en determinar las condiciones de utilización del carbón activado para la recuperación de zinc proveniente de las aguas del río Huancané, del Distrito de Huancané, Provincia de Huancané, Departamento de Puno.

Los análisis de muestras se enviaron a la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnologías de la Universidad Católica de Santa María-Arequipa.

Decreto Supremo 004-2017-MINAM, aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

**Tabla 4.** Valores límite de las aguas destinadas a la Descarga de efluentes de actividades minero-metalúrgicas

<b>Metal</b>	<b>Valor límite de agua de descarga a los ríos</b>
<b>Zn</b>	Max. 0,12 mg/L

**Fuente:** D.S. 004-2017-MINAM aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua

#### a. Análisis químico de las aguas del río Huancané el zinc (Zn)

De acuerdo al análisis espectroscópico efectuado en las aguas del río Huancané, la cantidad de zinc supera los límites máximos permisibles para el agua de descarga al río.

**Tabla 5.** Análisis químico del agua del río Huancané

Parámetro	Concentración (mg/L)	D.S. 004-2017- MINAM
	Promedio de 7 muestras de Zn (mg/L)	Zn (mg/L)
D.S. 004-2017-MINAM aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua	0,835	0,12

**Fuente:** Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad, Universidad Católica de Santa María- Arequipa

### **3.3.4. METODOLOGÍA PARA DEFINIR LA TECNOLOGÍA PROPUESTA, DANDO A CONOCER LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE PH Y TIEMPO DE ADSORCIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS DEL RÍO HUANCANÉ.**

#### **3.3.4.1. El procedimiento experimental de adsorción consta de las siguientes fases:**

- Preparación de la muestra: en un vaso precipitado de 250 mL se vierten 200 mL de la muestra a tratar. A continuación, se añade la dosis correspondiente de carbón activado granular comercial (a partir de árbol de coco) y se determina el pH hasta el valor seleccionado mediante la adición de hidróxido de calcio o ácido nítrico según sea el pH adecuado.
- Adsorción: se coloca el vaso en el equipo de agitación magnética a una velocidad de 500 rpm a la temperatura ambiente, con un tiempo inicial de 25 min. a 180 minutos.

- Sedimentación: se deja reposar el contenido de cada vaso de precipitado durante 15 minutos, para luego filtrarlos.

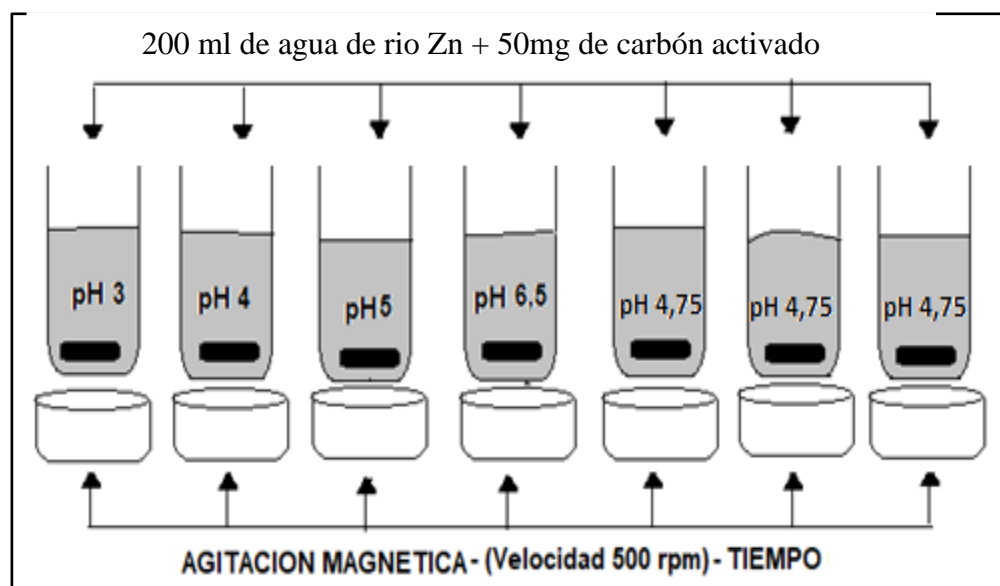
Mediante los ensayos realizados previamente se determinó que el tiempo de equilibrio para la adsorción de los iones de Zn fue de aproximadamente 3 h. Para asegurar haber alcanzado las condiciones de equilibrio, en este trabajo, todas las se realizaron con un tiempo inicial de 25min. A un tiempo final de 180 min.

### 3.3.4.2. Método de agitación magnética

La principal aplicación de este proceso es la recuperación de zinc. La prueba de agitación magnética tiene los siguientes pasos a seguir:

1. Se prepararon siete muestras de 200 mL con el agua a analizar del río Huancané que contienen 0,835 de zinc, en 7 vasos de precipitados con agitación magnética.

Se ajustó del pH, para provocar un desplazamiento del equilibrio químico que no favorezca la solubilidad. El pH para la precipitación del zinc fue de 3 a 6,5.



**Figura 5.** Número de prueba con agitación magnética

**Fuente:** Elaboración propia



2. Para la evaluación de la concentración de Zn, se tomó 200 mL de soluciones estándar de zinc y se pusieron en contacto con 50 mg de carbón activado comercial en frascos de Erlenmeyer de 250 mL con agitación constante a 500 rpm y a pH de 3 a 6,5 como se muestra en la figura, por un tiempo de 25 minutos para el primer experimento, luego se fue variando el tiempo hasta 180 minutos para la última prueba con agitación magnética a temperatura constante. Al cabo de este tiempo, la solución fue filtrada con papel filtro Waltman N° 40. Las concentraciones finales de zinc en las aguas del río Huancané, se determinaron por absorción atómica.
3. El estudio del efecto del pH sobre la remoción de zinc se realizó variando el valor del pH de la solución inicial en el rango de 3 – 6,5. Para ajustar al pH inicial deseado, se utilizaron soluciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{HNO}_3$  0,1 M según fuera conveniente, la masa de carbón activado utilizado fue de 50 mg
4. Se introdujo el carbón activado granulado comercial (a partir de madera de árbol de coco) al interior de cada vaso de precipitado e inmediatamente se comienza a agitar la solución-carbón activado a una velocidad constante para todas las experiencias de 500 rpm, durante el transcurso de cada experiencia se tomaron muestras a tiempos prefijados. Los tiempos de muestreo pueden ser: 25; 50; 75; 100; 120; 160; 180 min. Finalizado el tiempo de agitación, se desconecta el agitador.

La solución se filtró para recuperar el carbón. El carbón activado se guardó para un posible análisis y la solución sobrante se guarda en recipientes tapados para su posterior análisis.



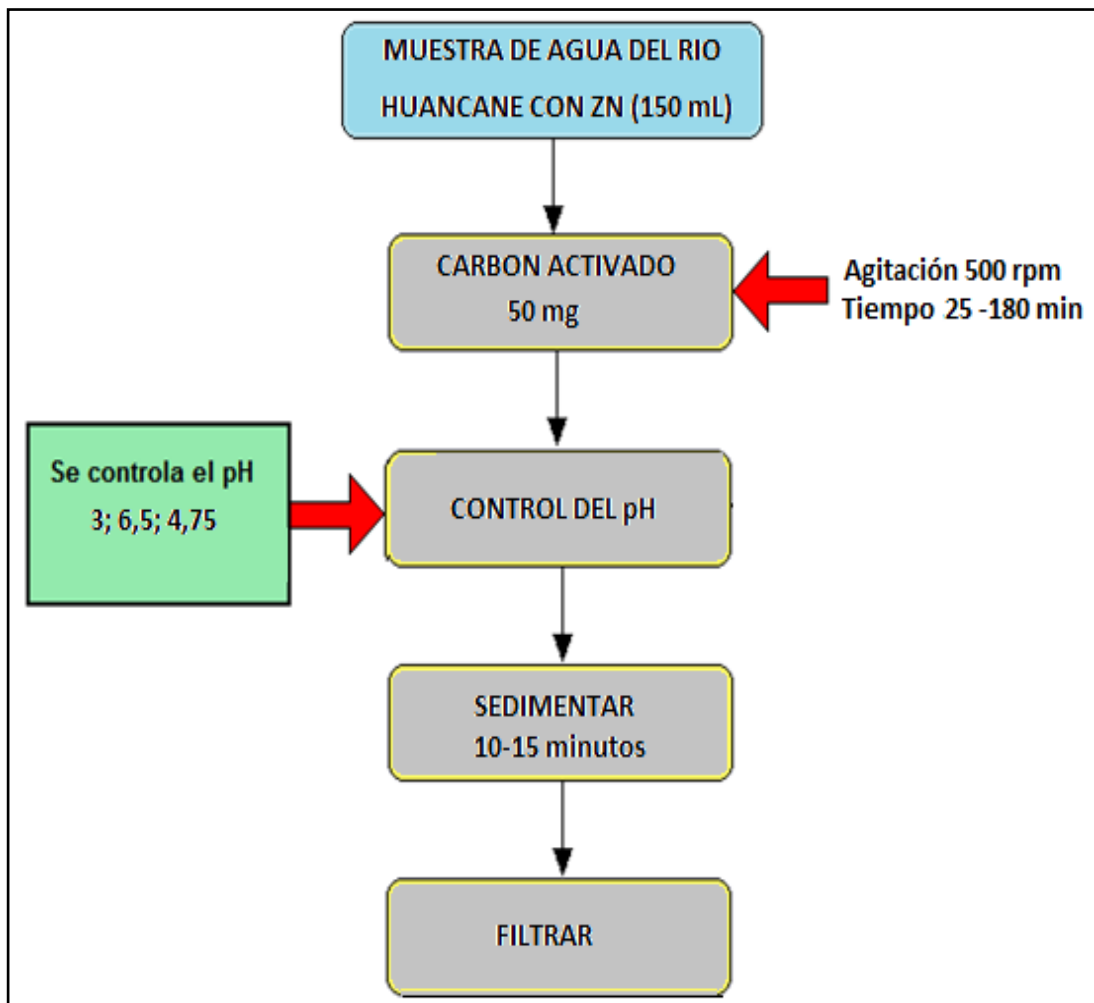
**Tabla 6.** Tratamiento de adición de carbón activado

<b>N.º de Pruebas</b>	<b>Carbón activado (mg)</b>	<b>Ph</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>1</b>	50	3,0	25
<b>2</b>	50	4,0	50
<b>3</b>	50	5,0	75
<b>4</b>	50	6,5	100
<b>5</b>	50	4,75	120
<b>6</b>	50	4,75	160
<b>7</b>	50	4,75	180

**Fuente:** Elaboración propia



## DIAGRAMA DE FLUJO DE LA AGITACION MAGNETICA



**Figura 6.** Diagrama de flujo del proceso de adsorción con agitación Magnética

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.5. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ZINC DEL RIO HUANCANÉ.

#### 3.3.5.1. Desarrollo del modelo matemático por experimentación y estadística

#### 3.3.5.2. Diseño factorial $2^k$

El diseño factorial de experimentos es una técnica estadística que permite planificar eficientemente la experimentación de modo que con un número mínimo de



ensayos se logre determinar la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas, el efecto de sus interacciones y se obtiene un modelo matemático empírico, que constituye la base para un proceso posterior de optimización.

Para el desarrollo matemático experimental se ha utilizado el programa Statgraphics Centurión XVI.

Para nuestro caso los factores serán optimizados en experimentos factoriales generales, tomándose en cuenta dos factores con dos niveles, el número total de experimentos a llevarse a cabo viene definido por la relación:

$$N = 2^k \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

N: Número de Experimentos.

K: Número de Variables.

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

#### ➤ **Identificación de las variables de trabajo**

El modelo factorial propuesto predice adecuadamente todos los puntos de diseño, por lo cual elegimos 2 variables que según muestras pruebas exploratorias intervienen y mejoran la adsorción de iones zinc con carbón activado. Estas variables son: tiempo de residencia en el reactor y pH.

Como se desea determinar el efecto de las dos variables sobre el rendimiento de la adsorción de zinc, se realizaron pruebas preliminares para determinar los niveles de cada variable, las que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 7.** Variables para el diseño experimental

Símbolo	Nombre de las Variables	Unidad	X	X
			mín. (-)	máx. (+)
X <sub>1</sub>	• tiempo de adsorción	• Minutos	25	180
X <sub>2</sub>	• pH.	• Escalar	3	6,5

**Fuente:** Elaboración propia

Para un diseño factorial  $2^2$  para dos factores o variables originales (tiempo de adsorción y pH), El método experimental a usar, es el diseño factorial completo  $2^k$  con 3 réplicas en el punto central de diseño, el cual se llevó a cabo tomando en cuenta las siguientes variables:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

Y = Variable respuesta Rendimiento

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> = Variables codificadas de entrada de tiempo y pH

Primero se halló los valores de X<sub>1</sub> y X<sub>2</sub> en función a las variables de entrada del proceso y luego los valores b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> (estimadores de los coeficientes de regresión) en función a la variable respuesta Rendimiento de extracción [Y].

### 3.3.5.3. Rendimiento de recuperación de Zn

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de rendimiento de zinc (ver resultados en anexo A<sub>3</sub>), el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\% \text{ RENDIMIENTO} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

%R = Rendimiento de Zn

W<sub>1</sub> = Peso inicial de Zn

$W_2$  = Peso de Zn recuperado**Tabla 8.** Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial para el Zn

N° DE PRUEBA	W <sub>1</sub> (mg)	W <sub>2</sub> (mg)	RENDIMIENTO %
1	0,835	0,03890	95,3397
2	0,835	0,03831	95,4121
3	0,835	0,03887	95,3446
4	0,835	0,03802	95,4470
5	0,835	0,03826	95,4176
6	0,835	0,03826	95,4176
7	0,835	0,03826	95,4176

**Fuente:** Elaboración propia

Conforme a lo establecido, el diseño factorial es de 04 corridas experimentales previamente combinadas con replicas en el punto central (5, 6 y 7), lo que nos da una visión de los efectos de las variables que permitirá visualizar los efectos y resultados finales.

Se han efectuado varias pruebas, para el modelo matemático y se han utilizado 50 mg de carbón activado para cada prueba.

#### 3.3.5.4. Matriz de diseño

Con los datos de la tabla anterior determinamos el número de pruebas experimentales a realizar (combinando los valores máximo y mínimo de dos factores establecidos). Para un diseño  $2^2$  se tiene 4 pruebas experimentales, con 3 réplicas en el punto central de diseño, que son las pruebas 5, 6 y 7 de la matriz. Así se tiene las siguientes combinaciones en la siguiente tabla.



**Tabla 9.** Matriz de diseño factorial  $2^2 = 4$  para el Zn

N° DE PRUEBA	DISEÑO	COMBINACION DE NIVELES		VARIABLE RESPUESTA
		pH (X <sub>1</sub> )	Tiempo (X <sub>2</sub> )	(RENDIMIENTO %) "Y"
1	[1]	3,0	25	95,3397
2	A	6,5	25	95,4121
3	B	3,0	180	95,3446
4	Ab	6,5	180	95,4470
5	C	4,75	125	95,4176
6	C	4,75	125	95,4176
7	C	4,75	125	95,4176

**Fuente:** Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1 RESULTADO DE LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA LA RECUPERACIÓN DE ZINC PROVENIENTE DE LAS AGUAS DEL RIO HUANCANÉ

##### 4.1.1.1 Condición inicial de las aguas del río Huancané

Esta parte de la metodología se basó en las condiciones de utilización del carbón activado para la recuperación de zinc proveniente de las aguas del río Huancané, del Distrito de Huancané, Provincia de Huancané, Departamento de Puno.

Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA – Puno.

Los análisis de las muestras se realizaron en la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnologías de la Universidad Católica de Santa María-Arequipa.

**Tabla 10.** Resultado de las pruebas de recuperación de Zn en las muestras de aguas del río Huancané

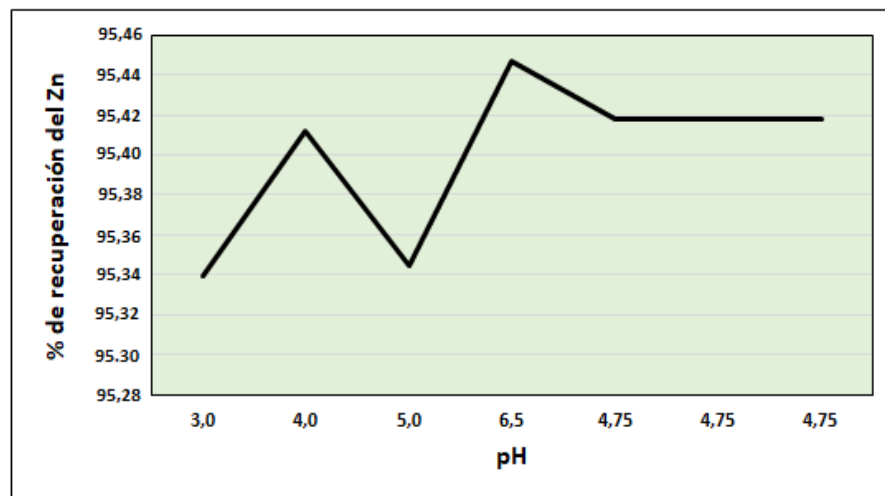
Parámetro (mg/L)	Aguas del río Huancané		% promedio de remoción
	Valor inicial, promedio de 7 muestras	Valor final promedio de 7 muestras	
Zinc	<b>0,835</b>	<b>0,03802</b>	<b>95,4470</b>

**Fuente:** Laboratorio de ensayo y control de calidad UCSM-Arequipa

**Tabla 11.** Zinc recuperado de la muestra tratada

Nº de muestras	pH	% de recuperación de Zn de aguas del rio Huancané
1	3,0	95,3397
2	4,0	95,4121
3	5,0	95,3446
4	6,5	95,4470
5	4,75	95,4176
6	4,75	95,4176
7	4,75	95,4176

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 7.** Eficiencia de recuperación de Zn con carbón activado a diferentes pH

#### 4.1.2 RESULTADO DE LA TECNOLOGÍA PROPUESTA, DANDO A CONOCER LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE pH Y TIEMPO DE ADSORCIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS DEL RÍO HUANCANÉ.

El proceso de adsorción depende de una serie de características físico-químicas del Zn, muy especialmente del pH.

El pH junto al tiempo de agitación, son los factores que más influyen de cuantos intervienen en el proceso de adsorción. Su influencia es determinante ya que afecta a todos los equilibrios de hidrólisis que se producen, como consecuencia de la adición de catión metálico.

Otra de las causas por las que el pH es tan determinante en el proceso, es que la adición del catión metálico provoca un aumento automático del pH, tanto más alta sea la dosis del coagulante, y en mayor sea la alcalinidad del agua.

Con objeto de establecer la influencia que el pH ejerce en el proceso de adsorción del zinc de las aguas del río Huancané, se efectuó el modelo matemático por experimentación y estadística, Se tiene los parámetros óptimos lo siguiente: pH 6,5 con lleva para las aguas del río Huancané a una velocidad de agitación de 500 rpm y tiempo de 180 min con un  $R^2= 92.98 \%$

**Tabla 12.** Resultados de concentración de zinc recuperado de la muestra tratada con carbón activado granulado comercial.

N° de Pruebas	pH	Tiempo min.	RENDIMIENTO		
			Concentración de Zn inicial (mg/L)	Concentración de Zn recuperado (mg/L)	%





1	3,0	25	0,835	0,03890	95,3397
2	4,0	25	0,835	0,03831	95,4121
3	5,0	180	0,835	0,03887	95,3446
4	6,5	180	0,835	0,03802	95,4470
5	4,7	125	0,835	0,03826	95,4176
6	4,7	125	0,835	0,03826	95,4176
7	4,75	125	0,835	0,03826	95,4176

**Fuente:** Elaboración propia

La tabla 12. Muestran el porcentaje de recuperación de zinc, luego del proceso de adsorción de zinc con carbón activado recuperado con un porcentaje de recuperación de 95.4470 % para una dosis de carbón activado de 50 mg, lo cual corresponde a una recuperación de 0,03802 mg/L y un pH de 6,5.

#### 4.1.2.1 Tratamiento estadístico del diseño factorial

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

**Tabla 13.**Efectos estimados para Y

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
<b>Promedio</b>	95,3931	0,0156567	
<b>A:Tiempo</b>	-0,128018	0,0290912	1,02571
<b>B:pH</b>	-0,00176495	0,000274854	1,02571

**Fuente:** Elaboración propia

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

#### 4.1.2.2 Análisis de varianza para Y

**Tabla 14.** Análisis de varianza para Y

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	0,00289825	1	0,00289825	19,36	0,0117
B:Ph	0,00617133	1	0,00617133	41,23	0,0030
Error total	0,000598658	4	0,000149664		
Total (corr.)	0,00852788	6			

**Fuente:** Elaboración propia

R-cuadrada = 92,98 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 89,47 porciento

Error estándar del est. = 0,0122337

Error absoluto medio = 0,0070565

Estadístico Durbin-Watson = 2,27559 (P=0,4601)

Auto correlación residual de Lag 1 = -0,161965

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Y en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso,

2 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 92,98% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 89,47%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0122337. El error medio absoluto (MAE) de 0,0070565 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de auto correlación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

#### 4.1.2.3 Estimación de efectos y modelo matemático

**Tabla 15.** Coeficiente de regresión para Y

<b>Coefficiente</b>	<b>Estimado</b>
<b>constante</b>	95,4801
<b>A:Tiempo</b>	-0,00082592
<b>B:pH</b>	-0,000504271

**Fuente:** Elaboración propia

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

$$Y = 95,4801 - 0,00082592 * \text{Tiempo} - 0,000504271 * \text{pH} \quad \text{Ec. (4)}$$

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

#### 4.1.2.3 Optimización de respuesta

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 95,4801

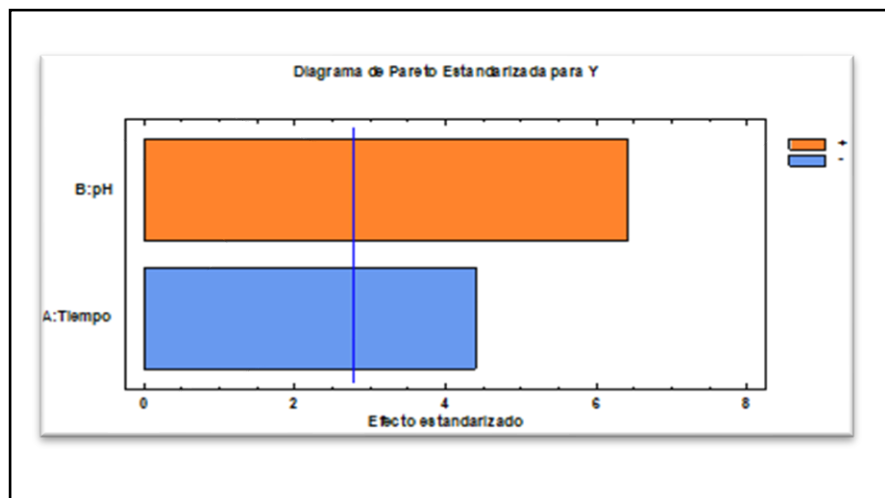
**Tabla 16.** Optimizar respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
pH	3	6,5	6,5
Tiempo	25,0	180,0	180

**Fuente:** Elaboración propia

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada.

#### 4.1.2.4 Diagrama de Pareto



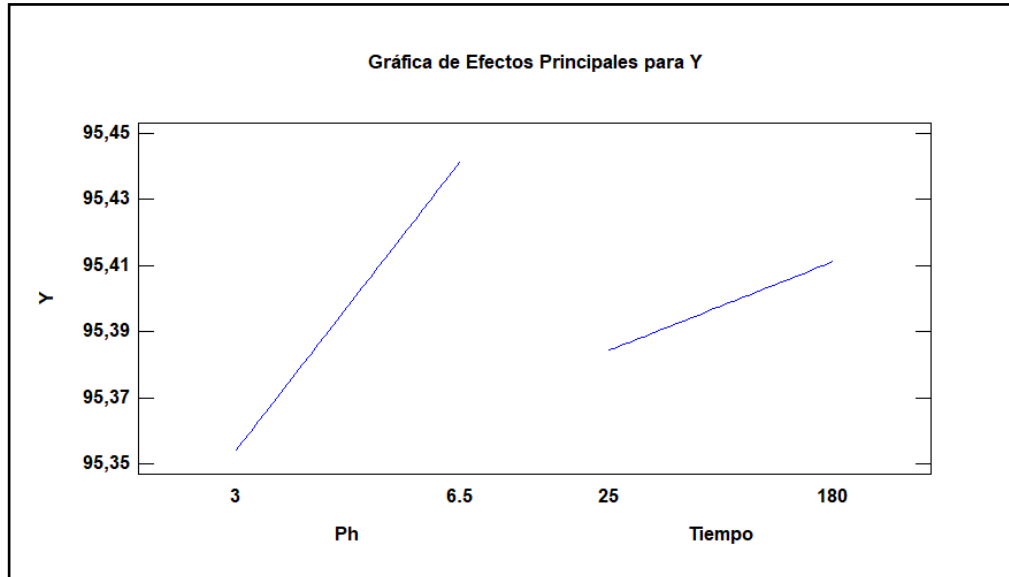
**Figura 8.** Pareto estandarizado para Y

Esta figura ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 14, la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, pH y tiempo, la más significativa para la variable respuesta es el pH, cualquier cambio en esta afecta a la variable respuesta Y en mayor grado.

La línea azul indica el margen sobre el que varía el sistema.

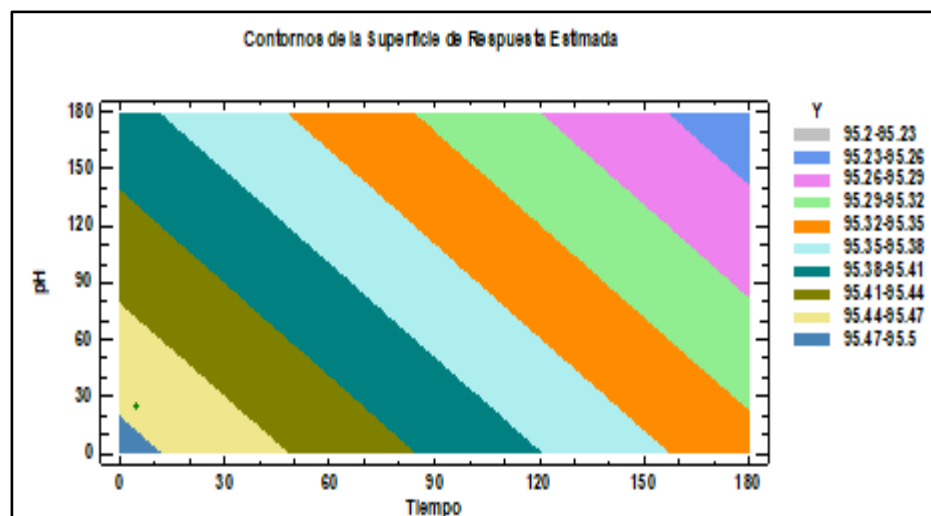
Los colores indican cuan representativos son las variables y sus combinaciones.

No hay indicios de correlación de serie en los residuos.



**Figura 9.** Efectos principales para Y

En la figura 9 se puede visualizar que no existe interacción entre los factores, por lo que estas variables son independientes lo que corresponde a la superficie respuesta, nos indica que la pendiente correspondiente a las variables tiempo que es negativa, mientras el pH es positivo.



**Figura 10.** Contornos de superficie de la respuesta estimada

Visualizando el gráfico (isolíneas), podemos interpretar lo siguiente: El valor óptimo para el tiempo es 180 minutos y un pH de 6,5.

Esta ventana muestra la ruta ascendente. Este indica localizaciones buenas para ejecutar experimentos adicionales si su objetivo es aumentar o disminuir el Rendimiento.

#### **4.1.3 RESULTADO DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ADSORCIÓN DE ZINC DEL RIO HUANCANÉ.**

El modelo matemático se ha demostrado a través de los resultados experimentales y de acuerdo al modelo estadístico Statgraphics Centurión XVI, donde se concluye que el pH es la variable más significativa en el proceso de adsorción de Zn de las aguas del río Huancané con un valor de 6,5.

El coeficiente de correlación obtenido ha sido  $R^2 = 92,98 \%$  y el modelo matemático hallado es:

$$Y = 95,4801 - 0,00082592 * \text{Tiempo} - 0,000504271 * \text{pH}$$

#### **4.1.4 DISCUSIÓN**

Según Condori (2011). Determinó la capacidad de adsorción de Zn contenido en un efluente industrial, donde el carbón activado presentó mejores capacidades adsorptivas. Los carbones activados preparados presentaron altas áreas superficiales de  $650,7 \text{ m}^2/\text{g}$ , capacidad de adsorción de hasta  $78 \text{ mg Pb/g}$  carbón activo, el pH fue el parámetro que mayor influencia tuvo en la adsorción de plomo, se logró remover el 99,8% del Pb (II) y Zn contenido en las aguas residuales de la mina San Ignacio.

En nuestro trabajo la mayor adsorción de zinc fue de  $0,835 \text{ mg/L}$  con 95,44 % de recuperación con carbón activado.

Según Aguirre (2017), en los ensayos de adsorción utilizó 2 g de carbón activado y que se pusieron en contacto con 500 ml de solución acuosa de plomo y arsénico en un



tiempo de agitación de 2 horas y 300 0rpm de velocidad, permitiendo obtener carbones activados con capacidad de adsorción de metales pesados como Pb(II) y As(V); removiendo el 98,7 % Pb(II) y el 70,3% de As(V) en soluciones acuosas en un tiempo de agitación de 75 a 120 minutos y a un pH tendiente a ácido de 4,97 y 5,6.

En nuestro trabajo de investigación se ha utilizado la agitación magnética, tecnología barata y de fácil uso, con carbón activado y utilizando  $\text{Ca(OH)}_2$  y  $\text{HNO}_3$  para cambiar el pH de la solución problema, siendo nuestra recuperación 95,44 % en de río.

En cambio, Apaza (2015). Aplica el proceso de precipitación alcalina, utilizando hidróxido de calcio e hidróxido de sodio, los resultados más relevantes obtenidos en esta investigación se dieron a partir de las variables de operación planteados para el diseño experimental de superficie de respuestas: pH (9,77) para  $\text{Ca(OH)}_2$  y (8,92) para NaOH, respecto a la velocidad de mezcla (40 rpm) para ambos hidróxidos y para la velocidad de agitación (20 minutos) para ambos hidróxidos, con estas variables se logró una eficiencia de remoción Pb (99,10%), Zn (99,50%) utilizando  $\text{Ca(OH)}_2$  y Pb (98,55%), Zn (99,06%) con NaOH.

Nuestro trabajo aplicó la tecnología de agitación magnética con carbón activado, Se utilizaron 7 vasos de precipitado conteniendo agua del río Huancané, los cuales contenían zinc, para determinar los parámetros físico-químicos en el proceso de adsorción con carbón activado se utilizó velocidades de agitación óptima de 500 rpm con un tiempo de 25 a 180 minutos y pH que vario de 3 a 6,5 para cada proceso, siendo el factor más importante el pH, utilizando  $\text{Ca(OH)}_2$  y  $\text{HNO}_3$  como corrector del pH en cada caso.

## V. CONCLUSIONES

Las condiciones de utilización del carbón activado para la recuperación de zinc proveniente de las aguas del río Huancané se tomó la muestra en un punto fijo a una coordenada de 15°06'06.5"S y 69°48'06.0"W (del puente río Huancané, esta 2km. aprox. ríos arriba) a una profundidad 50 cm. de la ciudad de Huancané indican la presencia de zinc con 0,835 mg/L, luego del proceso de adsorción con carbón activado granulado comercial (a partir de madera de árbol de coco), la concentración promedio de Zn recuperado en las aguas del río Huancané es de 0.03802mg/L, con 95,447 % de rendimiento de recuperación.

Se utilizaron 7 vasos de precipitado conteniendo agua del río Huancané, los cuales contenían zinc, para determinar los parámetros físico-químicos en el proceso de adsorción con carbón activado granulado comercial se utilizó velocidades de agitación óptima de 500 rpm con un tiempo de 25 min. a 180 minutos y con un pH que vario de 3 a 6,5 para cada proceso, siendo el factor más importante el pH, utilizando  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{HNO}_3$  como corrector del pH en cada caso, siendo el mejor resultado la prueba 4 con un resultado óptimo de pH=6,5 y un tiempo adsorción de trabajo de 180 min (tabla 12).

El coeficiente de correlación obtenido fue de  $R^2 = 92.98\%$  para las aguas del río Huancané, lo cual nos indica que el proceso de adsorción de zinc con carbón activado es adecuado, obteniéndose el siguiente modelo matemático.

$$Y = 95,4801 - 0,00082592 * \text{Tiempo} - 0,000504271 * \text{pH}$$





## VI. RECOMENDACIONES

Los gobiernos locales, deben de regular y establecer un programa de control, coordinando con las empresas mineras para evitar la liberación de estos contaminantes en el río a través de trabajos de recuperación de sus relaves.

Se recomienda analizar estudios de los metales pesados que no han sido evaluados en el presente trabajo de investigación.

Se debería realizar programas sobre remediación de relaves mineros como un mecanismo para evitar la contaminación de las aguas y así retornar a la región a sus condiciones naturales de antes.

Se hace necesario realizar estudios para saber la concentración de las fuentes de aguas subterráneas.

Se recomienda realizar estudios de evaluación de los pobladores aledaños, ganado y plantas que se encuentran en las riberas del río y determinar el grado de contaminación en la zona.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Afena P. (2006). Treatment of Carbonaceous Refractory Gold Ores. Mineral Engineering . *Univ. Tecnología, Lae, PNG* , Inglaterra.
- Agorube L. (2008). Remoción de Metales Pesados por Medio de Adsorbentes no convencionales. (*Tesis de pregrado*). Universidad de la Frontera, Temuco-Chile.
- Aguirre, Y. (2017). Adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (*eucalyptus globulus*). (*Tesis de pregrado*). UNA, Puno.
- Alami, S. (2010). Aprovechamiento del Hueso de la Aceituna, Biosorción de Iones metálicos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Granada, España.
- Apaza Derly. (2015). Remoción de metales cobre (Cu) y zinc (Zn) de las aguas del río T'toro Q'ocha por precipitación alcalina en la ciudad de Juliaca. (*Tesis de pregrado*). UNA-Puno, Puno.
- Arboleda J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua* . Colombia: Mc.Graw Hill.
- Barreto C. (2013). Obtención de carbón activado a partir de la pepa de la aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Callao, Lima.
- Bensal R y Goyal M. (2005). Activated Carbon Adsorption. *CRC Press, Boca Ratón*, 145-196.
- Barreto C. (2013). Obtención de carbón activado a partir de la pepa de la aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Callao, Lima.



- Cardenas Alexia, E. H. (2016). Diseño evaluativo y balance del proceso de desorción de oro en carbón activado y su reactivación en la U.M. Antonio Raymondi. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Colina E. (2012). Remoción de Pb(II) de Soluciones Mediante Carbón Activado. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Magdalena, Colombia.
- Condori Jaime. (2005). Remoción de plomo (ii) y zinc de las aguas residuales de la mina San Genaro por adsorción de carbón activado del eucalipto (*eucaliptus globulus labill*). (*Tesis de pregrado*). UNA-Puno, Puno.
- Diez F. (2008). Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. En Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: agronómicas. *Artículo científico*. Scielo, Huanuco.
- Eddy, M. y. (1995). *Ingeniería de las Aguas Residuales*. México: Mc, Graw bHill.
- Forstner Ulrich. (1993). Metales speciation general concept and aplicacion. In proceeding of the workshop on the sequential extraction of trace metals in soils and sediments. *Trabajo de investigación*. Technische Universität Hamburg, Alemania.
- Henning K y Schafer S. (1993). Impregnated activated carbon for environmental protection. Gas Separation and Purification. *Trabajo de investigación*. UNC, Cuba.
- Lavado c, S. m. (2010). Adsorción de Plomo de Efluentes industriales Usando Carbones Activados con ácido fosfórico. *Artículo científico*. Sociedad Química del Perú, Lima.
- Luna C. Gordon M. Martín M. (2007). Obtención de Carbón Activado A partir de la Cascara de Coco. *Trabajo de invdestigación*. Universidad de Extremadura, España.



- Mamani W, I. W. (2019). Adsorción de metales pesados de aguas residuales de la mina Lunar de Oro con carbón activado de lenteja de agua (*Lernna gibba* L.). *Trabajo de investigación*. UNAJ, Juliaca.
- Marlon M. (2009). Producción de Carbón Activado a partir de precursores Carbonosos del Departamento del Cesar Colombia. *Trabajo de investigación*. El Cesar, Centro de Investigación y Desarrollo tecnológico, Colombia.
- Martinez J. (1990). Adsorción de gases y vapores por carbones. *Espagrafc*. Aliocante, Alicante.
- Mellis A. Medina L. (2009). Investigación para la obtención de carbón activo a partir del bagazo de maíz. (*Tesis de Magister*). UNMSM, Lima.
- Merma Mamani V, S. R. (2005). Isotermas de adsorción del ion níquel mediante carbón preparado con bagazo de caña de azúcar y su aplicación en remoción de iones níquel en aguas residuales. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Mohanty K. Jha M. Meikap B. Biswas M. (2005). Biosorción de Cr (VI) de soluciones acuosas por *Eichhornia Crassipes*. *Chemical Engineering Journal*, págs. 71-77.
- Mojica L, R. W. (2012). Síntesis de carbón activado proveniente de semillas de eucalipto por activación física y química. *Trabajo de Investigación*. Scielo, Lima.
- Moreno C. Garcia M. (2008). Nuevas alternativas para la simplificación y mejora de la metodología de análisis de metales pesados en muestras ambientales. *Trabajo de Investigación*. Universidad de Barcelona, España.
- Nyer K. (2009). *Groundwater Treatment Technology. United States of America: (Third ed.)*. United States of América: Published by Wiley y Sons Inc.
- Padrón R. Gomez A. Garcia A. Gonzales L. (2013). El carbon activado, un material adsorbente. *Artículo científico*. Scielo, Suba.



- Panczner. (1987). *Minerals of Mexico*. México: Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Perdomo A. (2014). Obtención de carbono activado. *Artículo científico*. Scielo, Mexico.
- Pérez J. Cánepa L. Richter C. (1984). *Evaluación de plantas de tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: CEPIS.
- Ramirez J. Martinez M. Fernandez M. (2013). *Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula*. España: TEA Ediciones, 2013. ISBN 9788415262718.
- Rodrigues F y Molina M. (2012). El carbón activado en procesos de descontaminación. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Alicante, España.
- Rodriguez Alvarez, R. (2012). Recuperación de cadmio (II) de las aguas residuales de la ciudad de puno por adsorción de carbón activado a partir del serrín de pino (*pinus sylvestris*). (*Tesis de pregrado*). UNA, Puno.
- Rodriguez F. (2007). *El carbón activado como adsorbente universal*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Ramalho R. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. *Texto*. Edit. Reverte S.A., México.
- Selatnia A. Boukazoula N. Kechid M. Bakhti A. Cherqui A. (2004). Biosorption of Zn from aqueous solution by a bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. *Trabajo de investigación*. Revista estadounidense de investigación microbiológica, Egipto.
- Sepulveda A, B. F. (2008). *Eliminación de emisiones atmosféricas de COVs por catálisis y adsorción*. Argentina: Cooperación Iberoamericana.
- Sun-Kou, O. D. (2014). Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Artículo Científico*. Scielo, Lima.



- Uechi Lopez, J. (2016). Estudio del proceso de adsorción de cadmio y cromo presentes en soluciones acuosas utilizando carbones activados modificados. (*Tesis para optar Grado de Magister*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Valdez E. Vasquez A. (2007). *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. México: Fundación ICA, A.C.
- valencia Jorge. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua "2 da Edición, Tomo 1*. Zaragoza-España: Edit. Acribia.
- Vera Gaskell Vanessa. Morocho Chuchuca Diego A. (2016). Evaluación de adsorción de plomo y mercurio en carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz. (*Tesis de pregrado*). Universidad Tecnica de Machala, Machala.



## ANEXOS

### ANEXO A<sub>1</sub>

**Marco legal: D.S. 004-2017-MINAM aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establece Disposiciones Complementarias.**

Este decreto define al estándar de calidad ambiental como los valores que indican el nivel de concentración de parámetros químicos físicos y biológicos presentes en el aire, agua y suelo; estos valores no representan riesgo significativo para la salud de las personas y el medio ambiente. También propone que el proceso de evaluación de estos parámetros se aplica el principio de gradualidad, ósea que se hará ajustes de estos valores durante el curso de la evaluación (MINAM, 2017).

Además, establece al ministerio del ambiente como una de sus funciones específicas la de aprobar los lineamientos metodologías, procesos y planeos para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el agua (MINAM, 2017).

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la constitución política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Que el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental MINAM, (2017).



### **Los Estándares de Calidad Ambiental para agua como referente obligatorio.**

Los parámetros de los ECA para agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

- a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.
- b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.
- c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos, químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.
- d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.
- e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

La aplicación de los ECA para agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente (MINAM, 2017).



## Estándares de calidad ambiental para aguas del ministerio de ambiente

18 <b>NORMAS LEGALES</b> <span style="float: right;">Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano</span>						
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático						
Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						

Fuente: MINAN, (2017)

ANEXO A<sub>2</sub>

## MATRIZ DE DISEÑO FACTORIAL DE AGUAS DEL RIO HUANCANE

Conforme a lo establecido, el diseño factorial es de 04 corridas experimentales previamente combinadas, lo que nos da una visión de los efectos de las variables que permitirá visualizar los efectos y resultados finales y 3 corridas centrales.

**Tabla 17.** Matriz de diseño factorial  $2^2=4$  de aguas de río

N° DE PRUEBA	DISEÑO O	COMBINACION DE NIVELES		VARIABLE RESPUESTA
		pH (X <sub>1</sub> )	Tiempo (X <sub>2</sub> )	(RENDIMIENTO % “Y”)
1	[1]	3,0	25	95,3397
2	a	6,5	25	95,4121
3	b	3,0	180	95,3446
4	ab	6,5	180	95,4470
5	c	4,75	125	95,4176
6	c	4,75	125	95,4176
7	c	4,75	125	95,4176

**Fuente:** Elaboración propia

Determinamos con los valores de la tabla 14 el número de pruebas experimentales a realizar (combinando los valores máximo y mínimo de dos factores establecidos). Para un diseño  $2^2$  se tiene 4 pruebas experimentales y 3 pruebas centrales.

Diseño que cumple la condición de ortogonalidad en tanto la sumatoria de sus vectores  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  de su producto es cero. (Montgomery, 1996).

Conforme a lo establecido, el diseño factorial es de 07 corridas experimentales previamente combinadas, lo que nos da una visión de los efectos de las variables que permitirá visualizar los efectos y resultados finales.

**Tabla 18.** Zinc recuperado de la muestra tratada con carbón activado

<b>N° de Prueba</b>	<b>pH</b>	<b>Concentración de Zn recuperado (mg/L)</b>	<b>RENDIMIENTO %</b>
<u>1</u>	3,0	0,03890	95,3397
<u>2</u>	4,0	0,03831	95,4121
<u>3</u>	5,0	0,03887	95,3446
<u>4</u>	6,5	0,03802	95,4470
<u>5</u>	4,75	0,03826	95,4176
<u>6</u>	4,75	0,03826	95,4176
<u>7</u>	4,75	0,03826	95,4176

**Fuente:** Elaboración propia

## ANEXO A<sub>3</sub>

### TABLAS CORRESPONDIENTES A LOS CALCULOS DE LA METODOLOGIA DE INVESTIGACION

#### ➤ RENDIMIENTO DE RECUPERACION DEL ZINC

El rendimiento de recuperación del zinc se calculó con la siguiente

$$\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Dónde:

C<sub>i</sub>= concentración inicial del metal en el agua

C<sub>f</sub>= concentración final del metal en el agua después de la precipitación alcalina

Ejemplo:

Concentración inicial del zinc = 0,835 mg/L

Concentración final del zinc según Tabla 19 tratado con carbón activado

**Tabla 19.** Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial para el Zn

Concentración inicial de Zn (mg/L)	Concentración final de Zn (mg/L)	Rendimiento %
0,835	0,0389	95,3397
0,835	0,03831	95,4121
0,835	0,03887	95,3446
0,835	0,03802	95,4470
0,835	0,03826	95,4176
0,835	0,03826	95,4176
0,835	0,03826	95,4176

**Fuente:** Elaboración propia



$$1. \% = \frac{0,835-0,0389}{0,835} \times 100 = 95,3397 \quad \text{Ec. (5)}$$

$$2. \% = \frac{0,835-0,03831}{0,835} \times 100 = 95,4121 \quad \text{Ec. (6)}$$

$$3. \% = \frac{0,835-0,03887}{0,835} \times 100 = 95,3446 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$4. \% = \frac{0,835-0,03802}{0,835} \times 100 = 95,4470 \quad \text{Ec. (8)}$$

$$5. \% = \frac{0,835-0,03826}{0,835} \times 100 = 95,4176 \quad \text{Ec. (9)}$$

$$6. \% = \frac{0,835-0,03826}{0,835} \times 100 = 95,4176 \quad \text{Ec. (10)}$$

$$7. \% = \frac{0,835-0,03826}{0,835} \times 100 = 95,4176 \quad \text{Ec. (11)}$$



## ANEXO A<sub>4</sub>

### FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE CAMPO

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS PARA LA TESIS		
		MUESTRA <input type="text" value="A-1"/>
FECHA Y HORA DEL MUESTREO		
FECHA:	<input type="text" value="15/08/2021"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1 <sup>o</sup> MUESTREO
HORA:	<input type="text" value="9.0 AM."/>	<input type="checkbox"/> 2 <sup>o</sup> MUESTREO
DESCRIPCION DEL LUGAR		
PAIS:	<input type="text" value="Perú"/>	
DEPARTAMENTO:	<input type="text" value="Puno"/>	
PROVINCIA:	<input type="text" value="Huancané"/>	
DISTRITO:	<input type="text" value="Huancané"/>	
NOMBRE DEL LUGAR:	<input type="text" value="Rio Huancané"/>	
REFERENCIA DE LUGAR:	<input type="text"/>	
NOMBRE DEL RECOLECTOR DE LA MUESTRA		
NOMBRE	<input type="text" value="Vilma Yaneth"/>	
APELLIDOS	<input type="text" value="Chambi Huarilloclla"/>	
ASESORES EN LA RECOLECCION DE DATOS		
1	NOMBRE	<input type="text" value="Ciro Hernán"/>
	APELLIDOS	<input type="text" value="Vera Alatrística"/>
2	NOMBRE	<input type="text"/>
	APELLIDOS	<input type="text"/>
DATOS A MEDIR EN CAMPO		
TEMPERATURA	<input type="text" value="13"/>	<input type="text" value="°C"/>
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	<input type="text" value="167"/>	<input type="text" value="µS/cm"/>
pH	<input type="text" value="5,2"/>	<input type="text"/>

## ANEXO A<sub>5</sub>



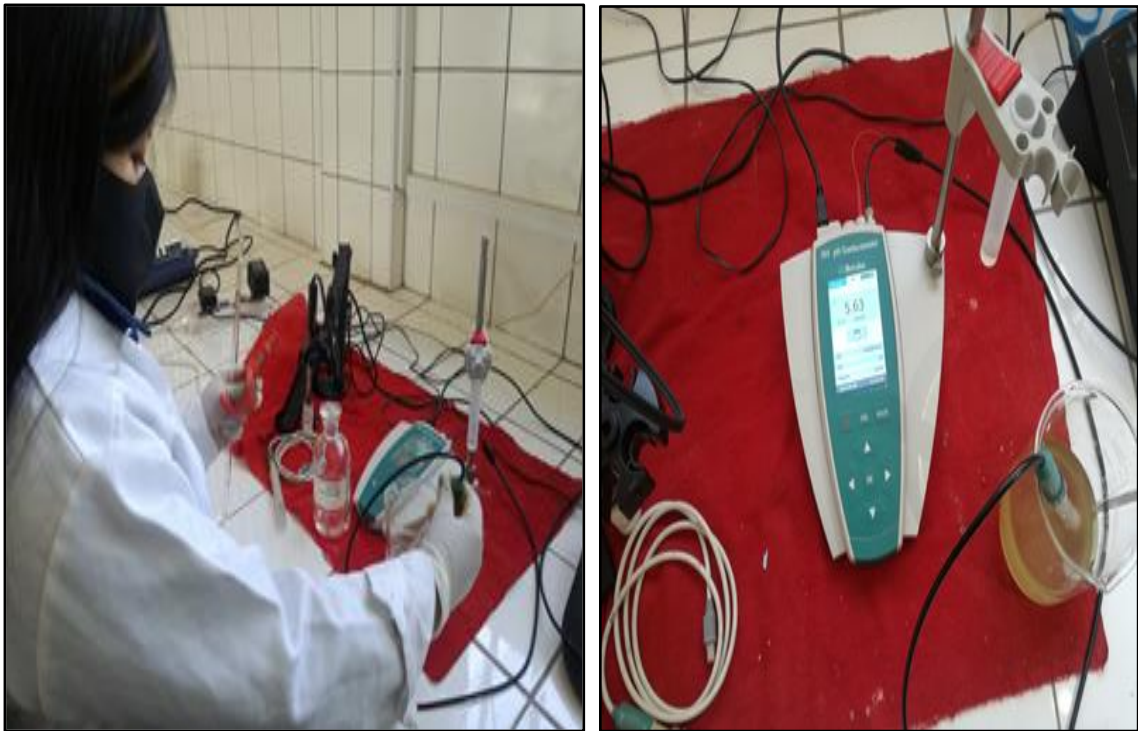
**Figura 11.** Toma de muestras de agua del río Huancané



**Figura 12.** Pesando 50 mg de carbón activado para cada vaso de precipitado

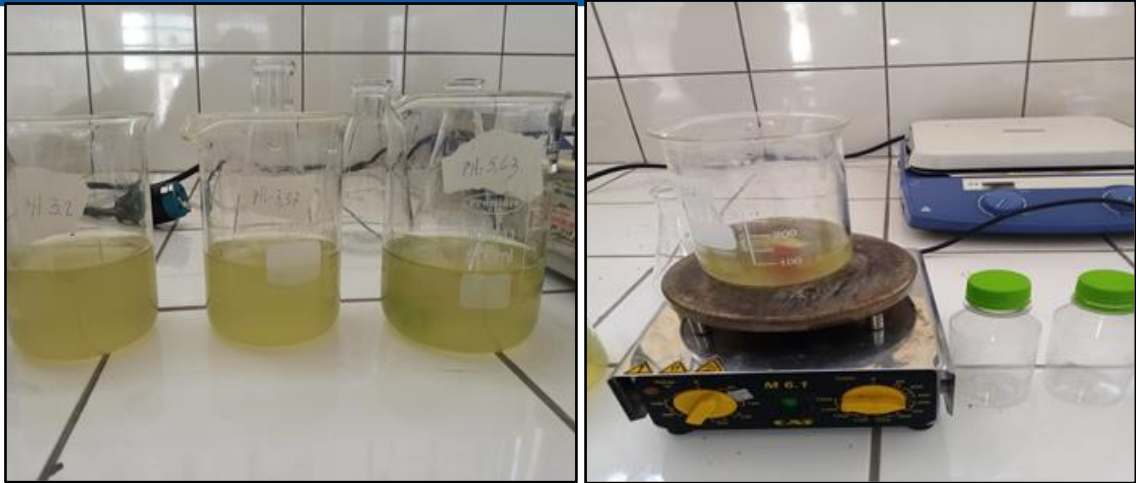


**Figura 13.** Preparando las muestras con carbón activado



**Figura 14.** Determinando el pH de cada una de las 7 muestras





**Figura 15.**Proceso de agitación magnética de agua de río con Zn



**Figura 16.** Proceso de filtración de cada muestra del proceso de adsorción de Zn



**Figura 17.** Envasado de las muestras de agua filtrada lista para su análisis



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGIAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📍 Apto. 1360  
AREQUIPA PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA17E17.004193B**

**Nombre del Cliente** : Sta. Vilma Yaneth Chambi Huarilloclla  
**Dirección del Cliente** : Av. Sesquicentenario N° 1150 – Puno  
**RUC** : NO CORRESPONDE  
**Condición del Muestreado** : POR EL CLIENTE  
**Descripción** : MUESTRA DE AGUA RIO HUANCANE-PUNO  
**Tamaño de la Muestra** : 200 mL  
**Fecha de Recepción** : 17/08/2021  
**Fecha de Inicio de Ensayo** : 18/08/2021  
**Fecha de Emisión de Informe** : 23/08/2021  
**Página** : 1

**I. ANALISIS FÍSICO – QUIMICO:**

ANALISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE METALES TOTALES (mg/L) Determination of metals and trace elements in Water and Wastes by Inductively Coupled-tomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7	
Zinc (Zn)	0,835 mg/L
DBO <sub>5</sub>	2000
DQO	2900
Materia orgánica	62,5
pH	5,2

**OBSERVACIONES:**

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL – DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto.  
Este documento no debe ser reproducido, sin la autorización escrita del laboratorio de Ensayo y Control de Calidad.

  
Ricardo Flores Vollenque  
CQFDA. 00624  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGIAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe ☎ http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA-PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA17E17.004203B**

**Nombre del Cliente** : Vilma Yaneth Chambi Huarillocla  
**Dirección del Cliente** : Av. Sesquicentenario N° 1150 – Puno  
**RUC** : NO CORRESPONDE  
**Condición del Muestreado** : POR EL CLIENTE  
**Descripción** : MUESTRA DE AGUA RIO HUANCANE-PUNO  
**Tamaño de la Muestra** : 200 mL  
**Fecha de Recepción** : 10/09/2021  
**Fecha de Inicio de Ensayo** : 13/09/2021  
**Fecha de Emisión de Informe** : 20/09/2021  
**Página** : 2

**II. ANALISIS FÍSICO – QUIMICO:**

ANALISIS	RESULTADO
Concentración de Zn (mg/L)	% recuperación de Zn
DETERMINACION DE METALES TOTALES Determination of metals and trace elements in Water and Wastes by Inductively Coupled-tomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7	
0.03890	95,3397
0.03831	95,4121
0.03887	95,3446
0.03802	95,4470
0.03826	95,4176
0.03826	95,4176
0.03826	95,4176

**OBSERVACIONES:**

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto.  
Este documento no debe ser reproducido, sin la autorización escrita del laboratorio de Ensayo y Control de Calidad.

Oco. Ricardo Flores Villalón  
COTDA 00624  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD

