



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



**ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA  
REMOCIÓN DEL ION ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE  
LA CIUDAD DE PUNO, UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO DEL  
EUCALIPTO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**LUYEI ASDRUAL CONDORI GOMERO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

isotermas de adsorción y su aplicación en la remoción del ion zinc de las aguas residuales de la ciudad

AUTOR

LUYI ASDRUVAL CONDORI GOMERO

RECuento de palabras

14595 Words

RECuento de caracteres

76377 Characters

RECuento de páginas

90 Pages

Tamaño del archivo

7.7MB

Fecha de entrega

Apr 25, 2024 8:14 AM GMT-5

Fecha del informe

Apr 25, 2024 8:17 AM GMT-5

● 17% de similitud general

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

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

  
Ing. M.Sc. Jorge Aruñanca Cartagena  
INGENIERO QUIMICO  
CIP. 128958



  
D. Sc. German Quille Calzaya  
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
FIO UNA - PUNO



## DEDICATORIA

*La resiente investigación se lo dedico a Dios, por no haberme abandonado en ningún momento de mi vida y haberme guiado por el buen camino.*

*A mis padres Esdenza y Miguel, que gracias a sus esfuerzos, paciencia y amor he logrado culminar mis estudios, por ser ejemplo de perseverancia y dedicación. Por haberme convertido en la persona que soy hoy, todos mis triunfos son gracias a ustedes.*

*A toda mi familia por ser la motivación fundamental, que es la mejor y los más valioso que Dios me ha dado.*

***Luyyi Asdruval Condori Gomero***



## AGRADECIMIENTOS

*Primeramente, dar gracias a Dios por mantenerme con vida y darme energía para poder seguir adelante en los momentos más difíciles de mi vida. Por guiarme por el buen camino y darme sabiduría para poder avanzar cada día.*

*Agradecer a mi madre por sus esfuerzos que son increíbles, su amor no tiene precio para mí y me das todo lo que necesito. Practico tus enseñanzas todos los días y realmente tengo bastante que agradecer.*

*A mi padre por haberme dado su apoyo total todos estos años, por haber estado ahí en el camino de todas mis metas trazadas, apoyándome en todo momento.*

*A Melayde por su generosidad, disposición y por todo el apoyo incondicional que me ha demostrado hacia mí a lo largo de los años.*

*A toda mi familia por el apoyo constante que me han dado y por alentarme a alcanzar mis sueños.*

*A mi alma mater “Universidad Nacional del Altiplano - Puno”, así también a la facultad de Ingeniería Química por la gran enseñanza que me brindo.*

*Por último, agradecer a mi director de tesis M.Sc. Jorge Aruwanca Cartagena por la paciencia, dedicación y la orientación de guía en este proceso tan importante de mi vida.*

*De la misma manera para los señores del jurado: Dr. Edwin Guido Boza Condorena, D.Sc. Nazario Villafuerte Prudencio y Dr. Luis Alberto Supo Quispe; por su valioso tiempo, apoyo y guía profesional.*

***Luyyi Asdrual Condori Gomero***



# ÍNDICE GENERAL

|                                                    | <b>Pág.</b> |
|----------------------------------------------------|-------------|
| <b>DEDICATORIA</b>                                 |             |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>                             |             |
| <b>ÍNDICE GENERAL</b>                              |             |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>                            |             |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>                           |             |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>                            |             |
| <b>ACRÓNIMOS</b>                                   |             |
| <b>RESUMEN .....</b>                               | <b>14</b>   |
| <b>ABSTRACT.....</b>                               | <b>15</b>   |
| <b>CAPÍTULO I</b>                                  |             |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                |             |
| <b>1.1. OBJETIVOS.....</b>                         | <b>18</b>   |
| 1.1.1. Objetivo General .....                      | 18          |
| 1.1.2. Objetivos Específicos.....                  | 18          |
| <b>CAPÍTULO II</b>                                 |             |
| <b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>                      |             |
| <b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b> | <b>19</b>   |
| <b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>                    | <b>23</b>   |
| 2.2.1. El zinc .....                               | 23          |
| 2.2.2. Efectos en la salud.....                    | 24          |
| 2.2.3. Fuentes de zinc .....                       | 24          |
| 2.2.4. Propiedades físico-químicas del zinc .....  | 25          |
| 2.2.5. Efectos del zinc sobre la salud .....       | 25          |



|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 2.2.6. Adsorción .....                          | 26 |
| 2.2.7. Características de un adsorbente. ....   | 27 |
| 2.2.8. Isotermas de adsorción .....             | 28 |
| 2.2.9. Modelo de adsorción de Langmuir .....    | 33 |
| 2.2.10. Modelo de adsorción de Freundlich ..... | 34 |
| 2.2.11. Carbón activado .....                   | 35 |

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

|                                                                                                                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....</b>                                                                                                                                                      | <b>38</b> |
| <b>3.2. MATERIALES.....</b>                                                                                                                                                               | <b>39</b> |
| 3.2.1. Material experimental .....                                                                                                                                                        | 39        |
| 3.2.2. Materiales y equipos .....                                                                                                                                                         | 39        |
| 3.2.3. Reactivos .....                                                                                                                                                                    | 39        |
| 3.2.4. Equipos e instrumentos .....                                                                                                                                                       | 39        |
| <b>3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>                                                                                                                                                | <b>40</b> |
| 3.3.1. Técnicas de muestreo .....                                                                                                                                                         | 40        |
| <b>3.4. DETERMINAR LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL CARBÓN<br/>ACTIVADO DEL EUCALIPTO PARA LA REMOCIÓN DE ZINC DE<br/>LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PÚNO. ....</b>               | <b>41</b> |
| 3.4.1. Caracterización de las aguas residuales contaminadas con zinc de la<br>ciudad de Puno .....                                                                                        | 41        |
| <b>3.5. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE pH Y TIEMPO<br/>DE REMOCIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA<br/>CIUDAD DE PUNO, POR EL PROCESO DE AGITACIÓN<br/>MAGNÉTICA. ....</b> | <b>43</b> |



|                                                                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.6. DETERMINAR EL MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE REMOCIÓN DE ZINC CON CARBÓN ACTIVADO POR EL PROCESO DE AGITACION MAGNETICA Y LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.</b> | <b>45</b> |
| 3.6.1. Desarrollo del modelo matemático y su isoterma de adsorción.....                                                                                                 | 45        |
| 3.6.2. Identificación de las variables de trabajo .....                                                                                                                 | 46        |
| 3.6.3. Rendimiento de remoción de metales (Zn) .....                                                                                                                    | 47        |
| 3.6.4. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $Zn^{+2}$ según Langmuir .....                                                                            | 48        |
| 3.6.5. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $Zn^{2+}$ según Freundlich .....                                                                          | 50        |

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|                                                                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.1. CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA LA REMOCIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO .....</b>                         | <b>51</b> |
| 4.1.1. Caracterizar las aguas residuales de la ciudad de Puno contaminadas con zinc .....                                                                      | 51        |
| <b>4.2. PARÁMETROS ÓPTIMOS DE pH Y TIEMPO DE REMOCIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO, POR EL PROCESO DE AGITACIÓN MAGNÉTICA.....</b>     | <b>52</b> |
| <b>4.3. MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE REMOCIÓN DE ZINC CON CARBÓN ACTIVADO, POR EL PROCESO DE AGITACIÓN MAGNÉTICA Y LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.....</b> | <b>53</b> |
| 4.3.1. Modelo matemático.....                                                                                                                                  | 53        |



|                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.2. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $Zn^{2+}$ según<br>Langmuir .....   | 54        |
| 4.3.3. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $Zn^{2+}$ según<br>Freundlich ..... | 61        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>                                                                       | <b>66</b> |
| <b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>                                                                  | <b>67</b> |
| <b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                       | <b>68</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                                                                | <b>73</b> |

**ÁREA:** Medio Ambiente

**TEMA:** Isotermas de adsorción y su aplicación en la remoción del ion zinc de las aguas residuales de la ciudad de puno, utilizando carbón activado del eucalipto.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 02 de mayo del 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

|                 | <b>Pág.</b>                                                                                                                                         |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tabla 1</b>  | Propiedades físico-químicas del zinc ..... 25                                                                                                       |
| <b>Tabla 2</b>  | Aplicaciones del carbón activado según su origen para el tratamiento de<br>aguas ..... 36                                                           |
| <b>Tabla 3</b>  | Localización geográfica de las estaciones de muestreo..... 41                                                                                       |
| <b>Tabla 4</b>  | Valores máximos de aguas residuales destinadas a la descarga con zinc en<br>lagos y ríos..... 42                                                    |
| <b>Tabla 5</b>  | Análisis químico de las aguas residuales..... 42                                                                                                    |
| <b>Tabla 6</b>  | Valores de carbón activado, pH y tiempos utilizados ..... 44                                                                                        |
| <b>Tabla 7</b>  | Identificación de variables y niveles de operación ..... 47                                                                                         |
| <b>Tabla 8</b>  | Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial del Zn..... 47                                                                                |
| <b>Tabla 9</b>  | Matriz de diseño factorial $2^2=4$ para el Zn ..... 48                                                                                              |
| <b>Tabla 10</b> | Valores de la cantidad de carbón activado y la concentración ..... 49                                                                               |
| <b>Tabla 11</b> | Resultado de las pruebas de remoción del Zn en las muestras de aguas<br>residuales de la ciudad de Puno ..... 51                                    |
| <b>Tabla 12</b> | Resultados de la concentración de Zn recuperado de la muestra tratada con<br>carbón activado granulado comercial ..... 53                           |
| <b>Tabla 13</b> | Resultados de los experimentos de adsorción de Zn de las aguas residuales<br>de la ciudad de Puno con carbón activado-isoterma de Langmuir ..... 54 |
| <b>Tabla 14</b> | Análisis estadístico de parámetros de la isoterma de Langmuir..... 55                                                                               |
| <b>Tabla 15</b> | Resultados de los experimentos de adsorción de Zn con valores de $1/C_e$ y<br>$1/q$ -isotermas de Langmuir..... 57                                  |
| <b>Tabla 16</b> | Análisis estadístico de los parámetros de la isoterma de Langmuir ..... 57                                                                          |
| <b>Tabla 17</b> | Resultados de la isoterma de Freundlich ..... 62                                                                                                    |



|                 |                                                                                                                                            |    |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 18</b> | Análisis estadístico de parámetros de la isoterma de Freundlich .....                                                                      | 62 |
| <b>Tabla 19</b> | Resultados de los parámetros de las isotermas .....                                                                                        | 65 |
| <b>Tabla 20</b> | Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establece disposiciones complementarias .....                                 | 73 |
| <b>Tabla 21</b> | Cálculos de los experimentos de adsorción de Zn de las aguas residuales de la ciudad de Puno con carbón activado-isoterma de Langmuir..... | 74 |
| <b>Tabla 22</b> | Datos experimentales de adsorción de Zn con valores de $1/C_e$ y $1/q$ - isoterma de Langmuir .....                                        | 74 |
| <b>Tabla 23</b> | Valores para la isoterma de Freundlich .....                                                                                               | 75 |
| <b>Tabla 24</b> | Cálculo del rendimiento para el diseño factorial del Zn.....                                                                               | 76 |
| <b>Tabla 25</b> | Efectos estimados para Y .....                                                                                                             | 78 |
| <b>Tabla 26</b> | Análisis de varianza para Y .....                                                                                                          | 78 |
| <b>Tabla 27</b> | Coefficiente de regresión para Y .....                                                                                                     | 79 |
| <b>Tabla 28</b> | Optimizar respuesta .....                                                                                                                  | 80 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                | <b>Pág.</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Figura 1</b> Clasificación BDDT de isothermas de adsorción .....                            | 32          |
| <b>Figura 2</b> Mapa de la bahía interior de la ciudad de Puno .....                           | 41          |
| <b>Figura 3</b> Puntos de monitoreo bahía interior .....                                       | 41          |
| <b>Figura 4</b> Número de pruebas con agitación magnética .....                                | 44          |
| <b>Figura 5</b> Isotherma con carbón activado según Langmuir $C_e/q$ Vs $C_e$ .....            | 55          |
| <b>Figura 6</b> Isotherma con carbón activado según Langmuir $1/q_e$ vs $1/C_e$ .....          | 58          |
| <b>Figura 7</b> Isotherma según Freundlich .....                                               | 63          |
| <b>Figura 8</b> Diagrama de Pareto.....                                                        | 80          |
| <b>Figura 9</b> Interacciones para el rendimiento .....                                        | 81          |
| <b>Figura 10</b> Contornos de superficie de la respuesta estimada.....                         | 82          |
| <b>Figura 11</b> Toma de muestras de agua frente a la UNA-PUNO .....                           | 83          |
| <b>Figura 12</b> Toma de muestra de agua frente al terminal de salida de carros provincial     | 83          |
| <b>Figura 13</b> Toma de muestras de agua en la laguna de oxidación .....                      | 84          |
| <b>Figura 14</b> Peso de muestra de carbón activado .....                                      | 84          |
| <b>Figura 15</b> Determinando el pH de la solución.....                                        | 84          |
| <b>Figura 16</b> pH de la solución .....                                                       | 85          |
| <b>Figura 17</b> Agitador magnético con la solución .....                                      | 85          |
| <b>Figura 18</b> Controlando la agitación .....                                                | 85          |
| <b>Figura 19</b> Proceso de filtración luego del tiempo de agitación .....                     | 85          |
| <b>Figura 20</b> Proceso de filtración de la solución .....                                    | 86          |
| <b>Figura 21</b> Muestras filtradas para su análisis luego de la agitación a diferentes pH.... | 86          |



## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                                             | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ANEXO 1:</b> Estándares de calidad ambiental (ECA).....                                  | 73          |
| <b>ANEXO 2:</b> Cálculos de los experimentos de adsorción de zinc .....                     | 74          |
| <b>ANEXO 3:</b> Cálculos de la metodología de investigación .....                           | 76          |
| <b>ANEXO 4:</b> Modelo matemático - Análisis estadístico para el zinc.....                  | 78          |
| <b>ANEXO 5:</b> Panel fotográfico .....                                                     | 83          |
| <b>ANEXO 6:</b> Certificados de análisis de laboratorio .....                               | 87          |
| <b>ANEXO 7:</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis .....                           | 89          |
| <b>ANEXO 8:</b> Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional..... | 90          |



## ACRÓNIMOS

|                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| pH:                   | Potencial de hidrógeno          |
| HNO <sub>3</sub> :    | Ácido nítrico                   |
| R <sup>2</sup> :      | Coefficiente de determinación   |
| Ca(OH) <sub>2</sub> : | Hidróxido de calcio             |
| ECA:                  | Estándares de Calidad Ambiental |
| MINAM:                | Ministerio del Ambiente         |
| LMP:                  | Límites Máximos Permisibles     |
| Zn:                   | Zinc                            |
| °C:                   | Grados Celsius                  |
| %:                    | Porcentaje                      |
| RPM:                  | Revoluciones por minuto         |
| min:                  | Minutos                         |
| mg/L:                 | Miligramos por litro            |



## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue el estudio de la remoción del ion zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno, por el proceso de adsorción utilizando carbón activado del eucalipto y con las isothermas de adsorción, en el cual se usó un agitador magnético como dispositivo. Las recolecto agua residual en 3 estaciones de muestreo, se obtuvo un total de 6 muestras, las cuales fueron recolectadas en recipientes de polietileno con capacidad de 250 cm<sup>3</sup> y mantenidos en refrigeración para poder ser transportado al laboratorio. Se caracterizó las propiedades químicas y físicas de las aguas residuales que exceden el límite máximo permisible de 0,12 mg/L de zinc, luego del proceso con agitación magnética utilizando carbón activado del eucalipto, se logró reducir la concentración a 0,04032 mg/L con un pH de 3,5 a 5,84 a 500 rpm, la variación del tiempo es de 20 a 160 min, el pH se ajustó utilizando ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>). El porcentaje para remoción del zinc fue de 88,51% para las aguas residuales en la bahía interior de la ciudad de Puno. Se concluye que el carbón activado obtenido del eucalipto tiene la propiedad de adsorber el ion zinc.

**Palabras claves:** Adsorción, Agitación magnética, Carbón activado, Isothermas, Zinc.



## ABSTRACT

The objective of the research was to study the removal of the zinc ion from the wastewater of the city of Puno, for the adsorption process using eucalyptus activated carbon and with adsorption isotherms, in which a magnetic stirrer was used as a device. Collect residual water at 3 stations in the museum, if a total of 6 samples are obtained, which must be collected in polyethylene containers with a capacity of 250 cm<sup>3</sup> and kept refrigerated for transport to the laboratory. If the chemical and physical properties of wastewater that exceed the maximum permissible limit of 0.12 mg/L of zinc are characterized, following the process with magnetic stirring using eucalyptus activated carbon, the concentration is reduced to 0.04032 mg/L with a pH of 3.5 to 5.84 at 500 rpm, the time variation is 20 to 160 min, the pH is adjusted using nitric acid (HNO<sub>3</sub>) and calcium hydrogen (Ca(OH)<sub>2</sub>). The measure to remove zinc was 88.51% of the wastewater in the internal bay of the city of Puno. It is concluded that the activated carbon obtained from eucalyptus has the property of adsorbing the zinc ion.

**Keywords:** Adsorption, Magnetic agitation, Activated carbon, Isotherms, Zinc.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El lago Titicaca en la ciudad de Puno tiene un área restringida de (16,0 Km) en la cual la Bahía interior tiene un gran hábitat, el cual es altamente antropogénico y donde algunos elementos orgánicos e inorgánicos pueden exceder las concentraciones máximas permitidas. El propósito del estudio fue medir de forma interactiva el total de metales que de la bahía interior del lago Titicaca, Perú. Por conveniencia, este estudio se realizó de enero a noviembre del año 2016 utilizando una muestra no probabilística y la comparación entre 6 puntos previamente seleccionados los cuales son el Cu, Zn, Pb, Cd, As, Hg estos elementos fueron escogidos y cuantificado por los equipos de espectrometría por el cual se acoplo a nivel axial. (Moreno *et al.*, 2017).

El deterioro ambiental que afecta a la calidad del agua, ya que este es un recurso natural y el cual esta limitante en diversas partes del mundo por la gran contaminación disueltos y acumulados, se indican un caso muy común, como consecuencia de ello se lleva al mal uso del recurso hídrico que es tan importante para la vida humana, tanto pudiendo afectar a la flora y la fauna (He *et al.*, 2014).

Una de las incertidumbres más grandes que hay en la sociedad es el conocer, el gran impacto ambiental que está llevando el recurso hídrico, pues este tema no es fácil de entender, el cual lleva muchos años con la misma problemática, la cual no solo es referida a los parámetros microbiológicos, físicos y químicos si no que estas sobre pasan los valores permitidos en diferentes lugares, (Corwin & Brandford, 2008), una de las mayores preocupaciones es la restauración de los recursos hídricos cuando estos hayan sido afectados por la contaminación (Shortle, 2013).



En particular, los metales pesados expuestos en los ecosistemas acuáticos, son un problema ambiental muy grave ya que estos no son biodegradables por lo cual se viene dedicando diversos esfuerzos por la comunidad científica (Qadir & Malik, 2011), así mismo, podrían bioacumularse en organismos inferiores y después biomagnificarse (Molina *et al.*, 2012), lo cual puede generar riesgos irreversibles para la salud humana (Wang *et al.*, 2015).

El propósito general de este estudio fue la determinación de las isotermas de adsorción y su aplicación en la remoción del ion zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno, utilizando carbón activado del eucalipto y los objetivos específicos fueron, determinar las isotermas de adsorción y su aplicación en la remoción del ion zinc, definiendo la tecnología propuesta, conocer los adecuados parámetros de pH, temperatura y tamaño de partícula del carbón activado y determinar el modelo matemático para el proceso de remoción de zinc con carbón activado (Londoño *et al.*, 2016).



## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo General**

Determinar la isoterma de adsorción y su aplicación en la remoción del ion zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno, utilizando carbón activado de eucalipto.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Determinar las condiciones de utilización del carbón activado del eucalipto para la remoción de zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno.

Definir los parámetros óptimos de pH y tiempo de remoción de zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno, por el proceso de agitación magnética.

Determinar el modelo matemático para el proceso de remoción de zinc con carbón activado, por el proceso de agitación magnética y las isoterma de adsorción.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Quispe (2016) en su trabajo investigativo las diferentes relaciones de adsorción/solución (A/S) 1/20 y 1/40, investigo y encontró las tasas para la adsorción del zinc en la salmuera, los valores para el aserrín, fue 2,29 en la salmuera y para el aserrín 5,59 (mg/g) donde se utilizó la salmuera de NaCl para la fijación de zinc, el cual fue obtenida con correlaciones de adsorbente/solución (A/S) 1/10, 1/20 y de 1/40 ha lo cual se removió el 41,7 %; 34,2 % y 36,5 % a un pH de 7 señalando que las remociones fueron de 99,8% para (A/S) 1/10; del 99,7% para (A/S) 1/20 y del 99,6% para (A/S) 1/40, al utilizar aserrín de pino (*pinus sylvestris*) se pudo remover del 40,5 %; 25,1 % y 15,9 % respectivamente a un pH de 4 y a pH 7 con porcentajes de remoción del 99,8%; del 99,8% y del 82,3% siendo la cinética obtenida de 1,7 mg Zn/g de adsorbente en cambio para el aserrín se obtuvo 2,25 mg/g, con esto se puede concluir que ambos materiales para la cinética de adsorción tubo un modo de actuar parecido por lo cual las isothermas de adsorción asumen que las moléculas son adsorbidas en sitios establecidos y que fueron ajustadas al modelo de Langmuir.

Sovero y Chuquillanqui (2021) determinaron que la cantidad de zuro de maíz utilizada fue de 0,4 g y 0,8 g, las dimensión de partículas des zuro de maíz fueron de 0,5 mm y 1 mm y trabajaron con un pH ácido de 5 y 6; la muestra fue analizada por adsorción atómica el cual presentaba una concentración de 89 mg/L de zinc cuyo valor supero el LMP de 1,5 mg/L para el zinc, se hizo corridas experimentales de las aguas acidas el cual dio un valor de concentración final de 0,12 mg/L, el cual removió un 99,87 % de zinc, se usó zuro de maíz para el proceso de adsorción del Zn (II), de tal manera se evaluaron las



isotermas de adsorción de Freundlich, Langmuir y Temkim las mismas que mostraron los diferentes coeficientes de correlación de 0,9499; 0,9063 y 0,8055 donde la isoterma de Langmuir demostró una adsorción en monocapa.

Vargas *et al.* (2006) estudió la recuperación del oro utilizando carbón activado en gránulos con disoluciones de tiosulfato y amoniac, donde se evaluaron etapas de desorción y adsorción; se evaluó la concentración de amoniac para la adsorción, la concentración del tiosulfato, impurezas del zinc y cobre, siendo el proceso experimental con amoniac que aumenta la adsorción de oro de este modo se demuestra que es perjudicial en la adsorción del oro la existencia de tiosulfato e impurezas como del cobre y del zinc, por consiguiente cuando investigaron la desorción examinaron la concentración de amoniac y tiosulfato regulando la temperatura y pH demostrando que el amoniac favorece al proceso, el pH se controló con hidróxido de amoniac que favoreció la desorción, de igual manera la temperatura mejoró el proceso de desorción, llegando a obtener la energía de activación de 9,13 kJ/mol.

Condori (2011) en su trabajo de investigación analizó la influencia de los siguientes parámetros de activación [agente activante (g)/ precursor (g)], tiempo de contacto y pH de las propiedades adsorbentes del carbón donde utilizó carbón activado para determinar la capacidad de adsorción de Pb (II) del efluente industrial mostrando una mayor capacidad de adsorción, paralelamente cuando se preparón y se activaron los carbones presentaron las superficies de áreas altas de 650,7 m<sup>2</sup>/g, con una absorbancia de 78 mg Pb/g de carbón activo, en consecuencia en este trabajo se demostró que el parámetro que tuvo mayor influencia en la adsorción del plomo fue el pH por lo que se logró adsorber Pb (II) y Zn a un 99,8% que contenía la mina San Ignacio en sus aguas residuales.



Lavado (2009) analizó los materiales obtenidos mediante adsorción de  $N_2$  a  $-196^\circ C$  y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), teniendo en consideración los parámetros próximos de activación sobre las propiedades de adsorción del carbono; primero determinó el pH adecuado y tiempo de contacto, luego determinó cómo funcionaba la razón de agente activante(g)/ precursor(g), a causa de que se presentaron elevadas áreas superficiales de  $650,7 \text{ m}^2/\text{g}$  para los carbones activados donde se adsorbió  $78 \text{ mg Pb/g}$  de carbón en el cual el parámetro de mayor influencia fue el pH para adsorber el Pb lográndose una remoción del  $99,8\%$  de plomo que contenía el efluente.

Chambi (2022) determinó los parámetros del agua de río tanto físicos y químicos teniendo un contenido de  $0,835 \text{ mg/L}$  de metal pesado zinc utilizando en su trabajo de investigación 7 repeticiones, cada uno con  $50 \text{ mg}$  de carbón activado, para lo cual se utilizó el agitador magnético con tiempos de  $25$  a  $180 \text{ min}$  y velocidad de  $500 \text{ rpm}$  para cada muestra dando como rendimiento en su investigación el valor de  $95,447\%$  y  $0,3802 \text{ mg/L}$  de zinc recuperado, de este modo el modelo matemático indica que la adecuada variable de adsorción es a un tiempo de  $180 \text{ min}$ ,  $500 \text{ rpm}$  y con un pH de  $6,5$  concluyendo que la variable más significativa es el pH, siendo su coeficiente de correlación  $R^2 = 92,98\%$  lo que indica que el proceso es muy adecuado.

Rodríguez (2012) en su investigación utilizó carbón activado de malla 60 obteniendo  $80,7 \text{ g}$  de carbón granular luego de ser triturado se incrementó la capacidad de adsorción de cadmio (II) a un pH de  $5$  determinando la máxima capacidad adsorbida con carbón activado  $48 \text{ mg/g}$  con un tiempo de  $300 \text{ min}$ , en conclusión se utilizó cantidades menores de carbón de un orden de  $50 \text{ mg}$  para el rendimiento del cadmio en las aguas residuales de la Bahía interior del lago de Puno donde tuvo una adsorción al  $95\%$  y un  $R-1,0/700$ .



Apaza (2013) logró recuperar el cadmio (II) de las aguas residuales de la ciudad de Puno utilizando el serrín de pino (*pinus sylvestris*) para poder obtener carbón activado a una temperatura de 700°C donde la adsorción del Cd fue de 51 mg/g, es preciso tener presente que el requisito de preparación utilizada para la activación afecta significativamente en la capacidad de adsorción del Cd (II), Por lo cual las más convenientes condiciones de preparación se reflejan al incrementar la capacidad de adsorción del Cd (II), Para conclusión el pH es el parámetro que más influye cuando se adsorbe Cd (II) donde se aumenta la capacidad de adsorción de  $q_e$  utilizando carbón activado R-1,0/700 a un pH de 5 teniendo un valor máximo adsorbido de Cd por gramo de carbón activado es 75 mg/g a un tiempo de 300 min y pH de 5.

López (2016) en su trabajo de investigación modifico el valor del pH de 3,5 – 11 y la cantidad que utilizó de coagulante fue 20 – 120 mg/L teniendo en cuenta la velocidad de agitación de 10 – 150 rpm donde el tiempo de mezcla fue de 10 a 30 min recuperándose el 98,10 % de Mn usando  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , en conclusión para el agua residual del rio Inambari se estableció que para la precipitación alcalina del agua el Ph fue de gran importancia sobre este proceso donde el modelo matemático fue realizado por la experimentación y estadística.

Huamán (2015) en su trabajo de investigación utilizó los métodos de adsorción para las isotermas de Freundlich y Langmuir con lo cual estableció los contenidos de plomo, cadmio, y zinc que se encuentran en el *Aloe Vera* (sábila) obteniendo como resultados 0,164 mg/kg para el plomo; 0,006 mg/kg para el cadmio y 0,6955 mg/kg para el zinc, Así también, los diferentes porcentajes de adsorción fueron los siguientes: para el Cadmio fue de 81,07%, Plomo 72,98% y Zinc 65,93% mostrando mayor porcentaje de adsorción el Cd, demostrando así la capacidad de adsorción de metales la sábila (*Aloe Vera*) por lo cual la isoterma de Langmuir logró conocer el mecanismo de



máxima capacidad de adsorción ( $q_{max}$ ) para un pH óptimo de 5 y se obtuvieron los siguientes resultados 36,76 mg/L para el cadmio y su  $R^2 = 0,9954$ ; en cambio se obtuvo 0,859 mg/L para el plomo y su  $R^2 = 0,9707$  y por último se obtuvo un resultado de 2,316 para el zinc mg/L y el  $R^2 = 0,9845$ , en conclusión las isotermas de Freundlich lograron obtener los siguientes resultados: para el cadmio su  $R^2$  fue de 0,998, para el plomo su  $R^2$  fue de 0,975 y por último para el zinc su  $R^2$  fue de 0,9847 todos a un pH de 5.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. El zinc

Este elemento debido a su alta reactividad, no se puede encontrar libremente en la naturaleza, en el sistema periódico el primer elemento es el zinc para el grupo 12 el cual puede encontrarse en el suelo, agua, aire y forma una gran cantidad de compuestos estables, como cloruros, óxidos y sulfatos, en la mayoría de los alimentos con una concentración promedio de 60 mg, es uno de los elementos más frecuentes en la corteza terrestre; al mismo tiempo tiene una fuerte tendencia a reaccionar con compuestos ácidos y básicos debido a su comportamiento anfótero (Moreno & García, 2008).

Los más significativos como: la hemimorfita ( $Zn_3Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$ ), la smithsonita ( $ZnCO_3$ ) y la esfalerita ( $ZnS$ ) son algunos de los 50 minerales más conocidos que se conocen en aguas naturales ; su concentración en aguas naturales como ríos y lagos es de 0,86 a 200 g/L y para agua de mar de 0,01 a 0,62 g/L, mientras en partículas aéreas es de 0,1 a 1,7 g/L, de la misma manera la ingesta excesiva puede provocar efectos adversos sobre la salud, el zinc es un componente vital porque está involucrado en muchas enzimas en el cuerpo, se encuentra en todos los tejidos y líquidos biológicos donde es parte natural de nuestra



alimentación, presente tanto en los alimentos que consumimos como en el agua, para poder mantener una concentración adecuada de zinc en el cuerpo humano, se estima que necesitamos consumir un promedio de 5 mg de zinc al día (Quispe, 2016).

### **2.2.2. Efectos en la salud**

La alta ingesta de zinc genera síntomas evidentes de toxicidad, tales como náuseas, vómitos, dolor abdominal, diarrea, letargo, dolor de cabeza y fatiga en general a lo cual aproximadamente 225 – 450 mg de zinc pueden producir vómitos inmediatos en adultos y la exposición a corto plazo a niveles muy altos de zinc contaminante (>300 ppm) a partir del almacenamiento inadecuado de alimentos o bebidas en vasos de galvanizado a causado gastroenteritis aguda por lo cual es necesario mantener los niveles de concentración de zinc en niveles recomendados para que no afecte en nuestra salud (Hotz & Brown, 2004).

### **2.2.3. Fuentes de zinc**

Como se ha indicado previamente, en todos los entornos ambientales el metal zinc esta presente, se puede acumular por la cadena alimentaria tanto naturales y de origen humano las cuales se incluyen los incendios forestales que no fueron provocados, erupciones volcánicas, aerosoles marinos y la lixiviación (Quispe, 2016).

Dentro de los factores de origen humano más significativos se encuentran la fabricación de acero, aguas residuales tanto industriales como urbanas, fertilizantes, insecticidas, fungicidas, cosméticos, pinturas, entre otros, donde el proceso de incorporación y acumulación de estos elementos a lo largo de la cadena

alimentaria sigue un patrón similar al mencionado anteriormente para el zinc (Quispe, 2016).

#### 2.2.4. Propiedades físico-químicas del zinc

**Tabla 1**

*Propiedades físico-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: (Chambi, 2022).

#### 2.2.5. Efectos del zinc sobre la salud

Se puede encontrar el zinc de manera natural ya que es un mineral muy abundante, el zinc está en el agua potable en cierta medida y esta cantidad puede



aumentar cuando se almacena en tanques, muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de zinc (Condori, 2011).

Las fuentes industriales o los sitios de eliminación de desechos tóxicos pueden ser responsables de la presencia de zinc en bebedero, alcanzando niveles elevados los cuales pueden causar problemas en la salud humana (Condori, 2011).

El micronutriente vital para la salud humana es el zinc, la acumulación del zinc puede incluso producir defectos de nacimiento, si una persona consume una cantidad excesiva de zinc, puede experimentar pérdida de apetito, disminución de la sensibilidad en el sabor y el olor, así como la aparición de pequeñas llagas y erupciones en la piel (Huayhua, 2019).

Aunque los humanos pueden tolerar cantidades relativamente altas de zinc, un exceso de este mineral también puede provocar problemas de salud significativos, como úlceras estomacales, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia, la exposición intensiva al clorato de zinc puede provocar trastornos respiratorios y el zinc puede ser perjudicial para los niños no nacidos y los recién nacidos, así mismo los niveles elevados de zinc pueden causar daños en el páncreas, interferir con el metabolismo de las proteínas y provocar arteriosclerosis, los bebés pueden estar expuestos al zinc si la madre ha adsorbido este metal en concentraciones elevadas (Huayhua, 2019).

#### **2.2.6. Adsorción**

Kula et al. (2008) en la que indica que la adsorción implica la separación de la materia de una fase en la que se acumula para la superficie de otra fase, típicamente sólida, su función principal en el proceso de la adsorción es el proceso de unión de iones, moléculas o partículas en la superficie del material sólido, se



puede afirmar que en la superficie del sólido el material de interés está unido, se debe excluir el fluido en este concepto (Kula et al., 2008).

“Los sólidos porosos como el carbón activado con frecuencia adsorben componentes polares y con grupos cromóforos (estructuras que presentan transiciones electrónicas en la región visible del espectro electromagnético)”.

Generalmente se puede identificar 2 tipos básicos de adsorción:

- **La adsorción física, o fisisorción**

La mayoría de las interacciones en la adsorción física son del tipo Van Der Waals (Kula et al., 2008).

- **Adsorción química o quimisorción**

Las entalpías de adsorción para fisisorción y quimisorción oscilan entre 50 kJ/mol y 400 kJ/mol como resultado de las interacciones, que son enlaces químicos (Kula et al., 2008).

“La distinción entre ellos radica en el tipo de interacción que se produce entre el adsorbente y el adsorbato”.

### **2.2.7. Características de un adsorbente**

Un material debe tener las siguientes características para poder ser utilizado como adsorbente a escala industrial (Donoso, 2015):

- **Elevada capacidad de adsorción**

Es una característica que relaciona la superficie y volumen de los poros del sólido, lo cual permite que se realice con una menor cantidad de adsorbente debido al costo (Donoso, 2015).



- **Selectividad**

La naturaleza y la estructura química del sólido tiene una propiedad dependiente (Donoso, 2015).

- **Propiedades mecánicas**

Para que no cambie la forma o tamaño del adsorbente durante los ciclos de adsorción, debe tener una alta resistencia mecánica y a la abrasión (Donoso, 2015).

- **Mayor vida útil**

Esto vendrá determinado por la naturaleza que tiene el adsorbente, el sistema que utiliza y el tipo de regeneración elegido (Donoso, 2015).

- **Costo**

Debe ser adecuado, se considera usar uno de origen natural o sintético (Donoso, 2015).

### **2.2.8. Isotermas de adsorción**

Una isoterma de adsorción es una curva que relaciona la concentración del material adsorbente con una determinada temperatura, Reconocimiento de formas y curvaturas de las isotermas de adsorción y su formulación matemática permiten investigar el comportamiento de la reacción de adsorción (Tan, 1998). La cantidad de líquido sobre el sólido es dependiente para la temperatura y la concentración de las especies adsorbidas, así como de las propiedades del líquido y sólido donde el sistema en el que las temperaturas son constantes, la variación de la concentración y la cantidad adsorbida forma una isoterma de adsorción (Tan, 1998).



La isoterma de adsorción es la relación que hay para la concentración de la disolución en el equilibrio (C) cuando la temperatura es constante con relación a la cantidad adsorbida (Austin, 1992). X es proporcional cuando las concentraciones C son bajas, generalmente la cantidad de adsorción aumenta proporcionalmente a la concentración, ya que la saturación de la superficie es gradual para la isoterma y se representa con lo siguiente (Austin, 1992):

$$\frac{X}{m} = KC^n$$

Donde:

m: Proporción de sustancia que absorbe

K y n: variables de temperatura y sistema. El término para la ecuación es la isoterma de adsorción.

C: Concentración

X: La cantidad que se absorbe

La energía potencial de una molécula en un líquido disminuye en la superficie, esto significa que la concentración será mayor y en el líquido menor, esto quiere decir que se podrá adsorber (Latham, 2001).

La porción que se adsorberá aumentará con la concentración del sistema en lugar de limitarse a una capa con un potencial de adsorción mínimo, la forma de una isoterma de adsorción depende significativamente de la naturaleza del adsorbente, ya que las isotermas de adsorción no siempre tienen la misma forma debido a las notables variaciones en los calores de adsorción de los diferentes adsorbentes para un adsorbato específico (Latham, 2001). Si el sólido es



mesoporoso, se producirá condensación capilar con presiones relativas isotérmicas de adsorción de moderadas a altas, cuando es microporoso, la condensación capilar ocurrirá a bajas concentraciones de isoterma de adsorción (Latham, 2001). Por tal razón la estructura de la isoterma de adsorción explica el proceso que ocurre en el sólido-adsorbato, con lo cual se propuso diversas clases de isotermas de adsorción, en la actualidad las más aceptadas son: Brunauer, Deming y Teller, se distinguen cinco diferentes isotermas, así también se ha identificado un sexto isoterma en los años recientes reconocido por la IUPAC, que también distingue 6 tipos de isotermas para la adsorción el cual se ilustra en la Figura 1 (Latham, 2001).

- El Tipo I (Tipo Langmuir) se caracteriza por los procesos que se observa para llenar los microporos, es común en los carbones activados para su interpretación se centra principalmente en la teoría del potencial de adsorción (Latham, 2001).

- Tipo II (Tipo BET) Este tipo se caracteriza por procesos de adsorción en sólidos no porosos o microporosos que puede estar en monomulticapa donde se realiza un análisis de manera precisa mediante el método de BET, un aspecto característico es el punto B, que señala la finalización de la monocapa que son comunes de este grupo los cuales incluyen grafitos no porosos y bastantes carbones negros (Latham, 2001).

- El Tipo III se caracteriza por procesos de adsorción para los sólidos no porosos donde interactúa con el adsorbente-adsorbato de forma frágil donde impide la formación del codo presente en las isotermas Tipo II y la definición del



punto B, el análisis de estos procesos es complicado debido a la escasa interacción superficial sólido-gas o sólido-líquido (Latham, 2001).

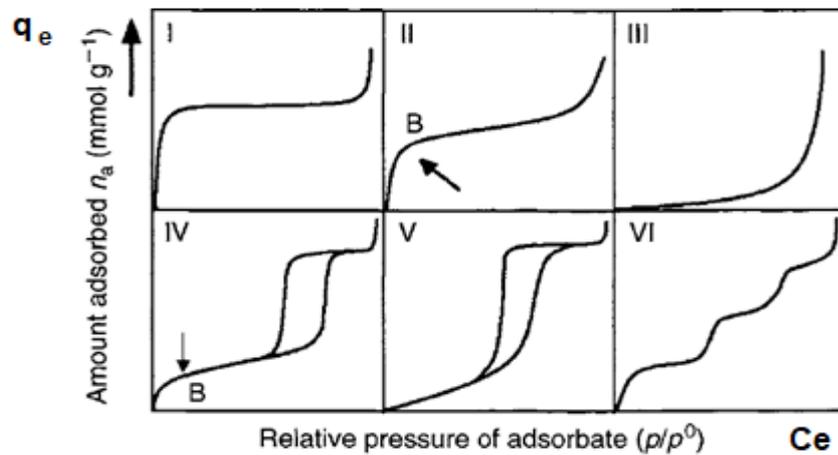
- El Tipo IV Se caracteriza por la presencia de ciclos de histéresis, que se comportan como isothermas de tipo II, pero a presiones medias empieza la condensación capilar en los mesoporos, y la distribución de tamaño de las isothermas se puede determinar a partir de las ramas de desorción de estas isothermas. La sílice y la alúmina de alúmina es un ejemplo representativo con respecto a esto. (Latham, 2001).

- El Tipo V no es muy común y tiene interpretaciones más complejas, tiene afinidad por el adsorbente (para este caso en particular es poroso, a diferencia del Tipo III) que el adsorbato tiene niveles bajos y mientras que la histéresis esta relacionada con la complementación o llenado de poros, con este isoterma no se puede obtener una superficie concreta, tampoco distribuciones para los tamaños de los poros confiables el cual es representativo para la adsorción de vapor de agua con carbones a una temperatura ambiental (Latham, 2001).

- El Tipo VI Se caracteriza por la adsorción multicapa de gases inertes sobre una superficie muy uniforme donde la primera capa se adsorbe en un rango de presión determinado, y para cada paso corresponde al llenado de la capa, hasta 2 o 3 capas en total, son procesos de adsorción sinérgicos donde cada capa contribuye activamente a la formación de la siguiente capa a través de interacciones laterales entre las mismas moléculas donde la adsorción de Kr en "papyex" o "graphoil" (dos tipos de grafito exfoliado) es un ejemplo típico de este fenómeno. (Latham, 2001)

## Figura 1

### Clasificación BDDT de isothermas de adsorción

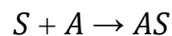


Fuente: Latham (2001).

Desde un punto de vista experimental, diferenciar tipos de adsorción significa obtener una isoterma de adsorción, que representa la temperatura de  $q_e$ , al número de moles de adsorción adsorbidos en función del  $C_e$  y su respuesta de concentración en equilibrio. (Latham, 2001). Para el caso de adsorción químicamente (refiriéndose a la adsorción monocapa), el gráfico se acerca asintóticamente al tipo I, que representa  $q_{max}$ , el límite de adsorción independiente de la concentración. (Latham, 2001). En una adsorción pura en la física, no tiene fin como en la adsorción química pura, y los moles adsorbidos aumentan continuamente con la concentración (Latham, 2001). En el caso promedio, el límite alcanza concentraciones moderadas, donde la quimisorción ocurre en una sola capa, seguida de una adsorción que aumenta sin limitaciones lasa concentraciones de mayor nivel debido a la superposición de varias capas en la adsorción física. (Latham, 2001).

### 2.2.9. Modelo de adsorción de Langmuir

Este modelo fue formulado por Langmuir en el año de 1918 siendo simple y antiguo, forma una monocapa cuando adsorbe a las moléculas completamente (saturación), momento en el cual finaliza la adsorción, este modelo considera que toda la superficie se vuelve homogénea (Austin, 1992). Se describe la adsorción comúnmente para términos de una isoterma que representa la relación de la fase acuosa (concentración) del adsorbato y a temperatura constante que cantidad se adsorberá a lo cual se asume los lugares de adsorción  $S$  para la superficie del sólido (adsorbente) son ocupados por el adsorbato  $A$  en la solución, por Langmuir se deriva la ley de la masa (Austin, 1992).



Lo cual significa que las especies superficiales son proporcionales a sus concentraciones, según el modelo de Langmuir (Austin, 1992):

$$q_e = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e}$$

Langmuir tiene un modelo inicial el cual desarrollo para los sistemas en los que la adsorción del metal zinc se lleva a cabo formándose una capa única de soluto en la parte superficial del adsorbente (Austin, 1992). A niveles bajos de coberturas superficiales, la isoterma de Langmuir se simplifica a una relación lineal que permite la calibración del modelo a partir de varios datos experimentales, los cuales son analizados mediante una regresión lineal al modelo que se da, la fórmula general de Langmuir (Austin, 1992):

$$\frac{x}{m} = \frac{V_m K C_e}{1 + K C_e}$$



Donde:  $x/m$  = La cantidad de adsorbato adsorbida por unidad de masa de adsorbente (mg/g) ( $q_e$ ).

$C_e$  = La concentración de equilibrio del metal en la solución después de la adsorción (mg/L).

“A través de la gráfica de  $C_e/xm$  versus  $C_e$ , se obtiene el término  $K$  que representa la constante de equilibrio (L/mg) y el término  $V_m$  que indica la cantidad máxima que puede ser adsorbida (mg/g), este valor corresponde a la formación de una monocapa sobre la superficie del adsorbente”.

La forma lineal de la ecuación de Langmuir puede expresarse como:

$$\frac{C_e}{\frac{x}{m}} = \frac{1}{KV_m} + \frac{C_e}{V_m}$$

#### 2.2.10. Modelo de adsorción de Freundlich

La primera ecuación propuesta para relacionar la cantidad de adsorción con la concentración de un material en solución fue la isoterma de adsorción de Freundlich. (Austin, 1992).

El modelo muestra la relación empírica que no permite determinar con capacidad de adsorción con precisión, ya que sólo es válido para rangos de concentración bajos y medios, la ecuación se expresa de la siguiente manera (Austin, 1992):

$$q_e = KC_{eq}^{1/n}$$
$$\ln q_e = \ln K + \frac{1}{n} \ln C_{eq}$$

Nomenclatura:



$q_e$  = representa los gramos adsorbidos por gramo de adsorbente.

$C_{eq}$  = concentración residual de lo adsorbido.

$K$  y  $n$  = son constantes experimentales sin ningún significado físico (no siempre es  $>1$ ).

### 2.2.11. Carbón activado

El carbón activado para tratar aguas por medio de la adsorción es el más conocido (Babel & Kurniawan, 2003).

Una amplia gama de carbones activados proviene de materiales carbonosos que exhiben una alta porosidad y una amplia área superficial interpartícula (Babel & Kurniawan, 2003). Esta superficie tiene una estructura de microporos bien definida y tiene un área superficial entre 600 y 2000  $m^2/g$  su inconveniente al momento de utilizarlos es que producen desechos que necesitan una adecuada disposición final (Babel & Kurniawan, 2003).

El carbón activado residual se puede valorar utilizando en la industria del cemento, lo que lo convierte en una alternativa a considerar si no se puede reactivar el carbón, para producir carbón activado, utilizan diferentes materiales como las cortezas de madera como almendros, nogales o palmeras (Manual del carbón activo, 2017). El carbón amorfo es de origen mineral o vegetal (Manual del carbón activo, 2017).

- **Carbones minerales:** Turba, carbón bituminoso, antracita, lignito, entre otros.
- **Carbones vegetales:** Incluyen madera (pino, acacia), desechos de madera, bagazo, cuescos de frutas y cáscara de coco (Babel & Kurniawan, 2003). Los

carbones activados se pueden dividir en cuatro tipos según su tamaño y forma: polvo, granular, fibra y tela; su forma polvo y granular es el más frecuente (Babel & Kurniawan, 2003).

**Tabla 2**

*Aplicaciones del carbón activado según su origen para el tratamiento de aguas*

| <b>Tipo de carbón activado de acuerdo a su origen</b> | <b>Aplicaciones principales para el tratamiento de aguas</b>                                                                                                                                                             | <b>Observaciones</b>                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vegetal (madera de pino)</b>                       | Aguas residuales de color intenso y/o con un contenido importante en grasas, aceites entre otros que tengan un peso molecular elevado. Depuración de aguas superficiales que contengan elevada materia orgánica natural. | Dado que los contaminantes nombrados tienen un tamaño molecular aproximadamente grande, se necesita un carbón activado macroporoso. La cual es usada en el petróleo, en los alimentos y para la industria textil. La dureza de este carbón es alta por lo cual se usa normalmente en polvo. |
| <b>Mineral lignítico</b>                              | Agua residual cuyos contaminantes sean muy diversos, como las de procedencia municipal.                                                                                                                                  | Este tipo de carbón activado tiene los poros de diferentes medidas y, por tanto, es adecuado para contaminantes moleculares de diferentes dimensiones.                                                                                                                                      |
| <b>Mineral bituminoso</b>                             | Aguas residuales que contengan contaminantes de peso molecular moderado. Potabilizar el agua superficial que tengan un color ligero debido a las algas.                                                                  | La gran parte de poros de este tipo de carbón activado se encuentran en un rango de mesoporosidad. La dureza es más baja que la cáscara de coco, pero es adecuada cuando los contaminantes no volátiles son elevados.                                                                       |
| <b>Cáscara de coco</b>                                | Elimina olores, sabores, compuestos en el agua superficial, así también potabiliza el agua para los pozos. Aguas residuales que contengan solventes volátiles y la remoción de moléculas.                                | Es el carbono con mayor proporción de microporos, por lo que es más eficiente al momento de retener moléculas pequeñas. Este tipo de carbón se utiliza para decolorar, ya que tiene una dureza alta y tiene resistencia al desgaste.                                                        |

Fuente: Donoso (2015).



La remoción varía según el tipo de carbón activado que se usara, la concentración o la dosis que se utilizara, el compuesto que se desea adsorber y las condiciones de temperatura y pH durante el proceso (Donoso, 2015). Por otro lado, una de las grandes ventajas de la adsorción en comparación con otros procesos es que no agrega subproductos indeseables al medio, lo que la convierte muy importante para tratar el agua al momento de remover concentraciones residuales como el ozono y cloro que son agentes oxidantes (Donoso, 2015). Una gran ventaja del carbón activado en comparación con otros procesos es que actúa en la adsorción de agentes contaminantes y removiendo los subproductos de forma inofensiva (Donoso, 2015).

El carbón activado de eucalipto se usa en el tratamiento de aguas industriales, de minería y potable, su propósito es remover los contaminantes y lograr cumplir con los estándares permitidos según las normas nacionales e internacionales ya que las aguas residuales pueden contener una amplia gama de contaminantes y sus métodos de tratamiento, las técnicas utilizadas en estos procesos son diferentes y se dividen en convencionales y alternativas según el tipo de operación (Chura & Ponte, 2023).

El carbón activado de eucalipto es un material poroso con una extensa área superficial interna, cuya área le da una capacidad de remoción, adsorción y purificación de concentraciones de los contaminantes presentes en los cuerpos de agua (Chura & Ponte, 2023).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La Bahía interior pertenece al Lago Titicaca, donde se ha desarrollado la ciudad de Puno, con una población aproximada de 128,637 según las encuestas en el año 2017 y está localizada en la esquina noroeste, así también, la bahía interior del lago es un ecosistema casi cuadrado con una profundidad de 0,50 - 17,70 m, con una superficie de 17,3 km<sup>2</sup> (donde 0,21% representa el área total del lago) con un valor aproximado de 80 millones de m<sup>3</sup> de agua. (Espinoza, 2012).

Las muestras contaminadas con zinc se tomaron de la ciudad de Puno de las aguas residuales que desembocan en la bahía interior. El estudio se realizó en diferentes áreas las cuales fueron la bahía interior de la ciudad de Puno, a 100 metros del terminal y la laguna de estabilización de aguas servidas cuya ubicación general es:

Latitud: 15°50'00''S

Longitud: 70°02'00''W

El trabajo investigativo fue realizado en el ámbito del departamento de Puno, en la Escuela Profesional de Ingeniería Química, en el Laboratorio de Control de Calidad del agua, ubicada en:

Departamento: Puno

Provincia: Puno

Dirección: Av. Sesquicentenario N° 1150



## 3.2. MATERIALES

### 3.2.1. Material experimental

Aguas residuales contaminadas con iones de zinc de la bahía interior de la ciudad de Puno.

### 3.2.2. Materiales y equipos

- Matracas aforados de 50-100-500 mL. (polietileno tereftalato glicol (PETG)).
- Bagueta.
- Embudos de vidrio.
- Papel filtro Whatman N° 42.
- Pipetas de 1 - 5 - 10 - 20 mL.
- Tubos de ensayo.
- Pipeta.
- Mortero de ágata.
- Vasos de precipitado.

### 3.2.3. Reactivos

- Carbón activado (polvo) grado técnico.
- Hidróxido calcio.

### 3.2.4. Equipos e instrumentos

- Balanza analítica. (METTLER TOLEDO AB2 04) Max. 210 g, Min. 10 mg.
- pHmetro digital de calibración (HANNA INSTRUMENTS, HI 9321).
- Agitador magnético STIRRER TYPE OP-9/2/3.



### 3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 3.3.1. Técnicas de muestreo

##### a. Muestreo de las aguas residuales de la ciudad de Puno

Para tener un buen muestreo, seguimos nuestro protocolo específico para el tipo de agua utilizando la Norma Técnica Peruana de Aguas Residuales (NTP) 214.060: Protocolo de Muestreo para Aguas Residuales No Alcantarilladas.

- Proporción de puntos de muestra
- Consideraciones de muestreo: tipos de muestras
- Conservación y almacenamiento de muestras.

Las muestras obtenidas de las aguas residuales ubicados en 3 diferentes puntos, las cuales se muestrearon 2 veces en cada una de las estaciones, se colectaron un total de 6 muestras para los análisis químicos, cada una en recipientes de polietileno de 200 cm<sup>3</sup>, las cuales fueron conservadas en refrigeración para su posterior transporte al laboratorio.

**Tabla 3**

*Localización geográfica de las estaciones de muestreo*

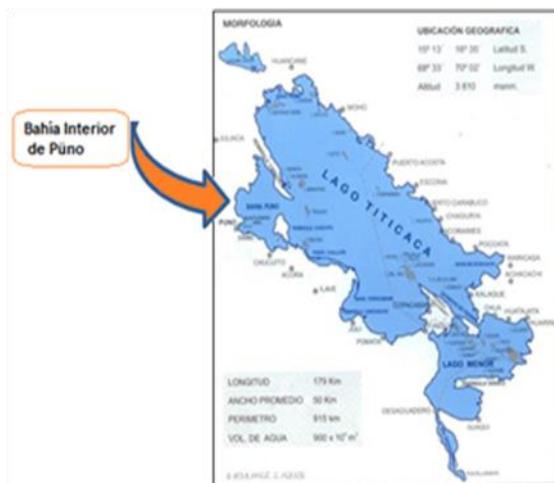
| <b>Estación</b>                                        | <b>Descripción</b>                                                                                        |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E-1: Latitud: 15°50'28,6''S<br>Longitud: 70°01'02,8''W | Bahía Interior de Puno en el Lago Titicaca, a 100 m en dirección salida de carros del terminal terrestre. |
| E-2: Latitud: 15°51'14,1''S<br>Longitud: 70°00'12,7''W | Bahía Interior de Puno en el Lago Titicaca, laguna de oxidación frente al Cuartel Manco Cápac.            |
| E-3: Latitud: 15°50'02,5''S<br>Longitud: 70°00'56,7''W | Ciudad de Puno bahía interior del Lago Titicaca, a 510 m en dirección S de la Universidad (UNA)           |

**Figura 2**

*Mapa de la bahía interior de la ciudad de Puno*

**Figura 3**

*Puntos de monitoreo bahía interior*



### 3.4. DETERMINAR LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DEL EUCALIPTO PARA LA REMOCIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PÚNO.

#### 3.4.1. Caracterización de las aguas residuales contaminadas con zinc de la ciudad de Puno

Para un mejor desarrollo de la investigación se caracterizó sus propiedades físicas y químicas de las muestras de las aguas residuales de Puno, según lo siguiente:

**a. Valores máximos permisibles para el Zn en las aguas residuales de la ciudad de Puno**

**Tabla 4**

*Valores máximos de aguas residuales destinadas a la descarga con zinc en lagos y ríos*

| Metal       | Unidad de Medida | D.S. 004-2017-MINAM de los límites máximos permisibles para la descarga en lagos y ríos |
|-------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Zinc</b> | mg/L             | 0,12                                                                                    |

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

**b. Análisis químicos de las aguas residuales de la ciudad de Puno**

Análisis espectroscópico efectuado de las aguas residuales de la bahía interior de la ciudad de Puno, cantidades de zinc que superan los límites máximos permisibles (LMP).

**Tabla 5**

*Análisis químico de las aguas residuales*

| Metal       | Unidad de Medida | Análisis de las aguas residuales de la bahía interior<br>Promedio de Zn de las 3 estaciones (mg/L) | D.S. 004-2017-MINAM de los límites máximos permisibles para la descarga en lagos y ríos<br>Zn (mg/L) |
|-------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Zinc</b> | mg/L             | 0,351                                                                                              | 0,12                                                                                                 |

Fuente: laboratorio RH LAB S.A.C de la ciudad de Juliaca – Av. Mártires del 4 de noviembre N° 2414 (Salida Puno – frente a Covisur)



### **3.5. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE pH Y TIEMPO DE REMOCIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO, POR EL PROCESO DE AGITACIÓN MAGNÉTICA.**

1. Para iniciar la parte experimental se utilizaron 6 muestras de agua residual de la bahía interior de la ciudad de Puno el cual contenía zinc, el volumen para cada una de las muestras a tratar fue de 150 mL los cuales se introdujeron en vasos de precipitado.
2. Con el objetivo de provocar el desplazamiento para el equilibrio químico que no favorezca la solubilidad, se ajustó del pH con  $\text{HNO}_3$ . Para la precipitación del zinc el pH tuvo un rango de 3,5 a 5.84.
3. Se evaluó la concentración de zinc, tomando 150 mL de la solución para cada muestra los cuales se puso en contacto con 0,05 mg de carbón activado en vasos de precipitado de 200 mL con una agitación constante, teniendo este un pH de 3,5 a 5.84 y a 500 rpm de agitación tal como se muestra en la figura 5.

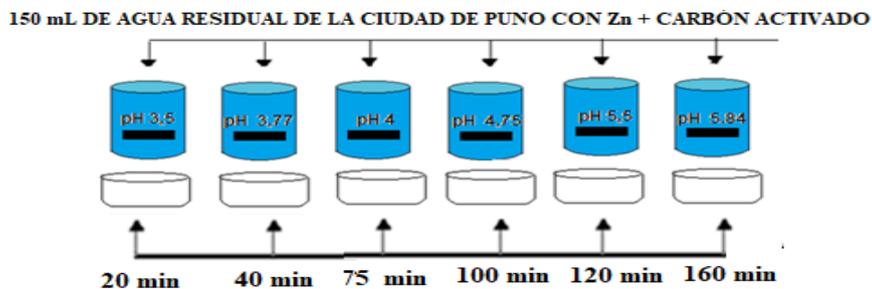
Se trabajó para la primera experiencia por un tiempo de 20 minutos, seguidamente el tiempo para la agitación magnética fue variando hasta 160 minutos con una temperatura constante. Concluido el tiempo de agitación, cada una de las soluciones fueron filtradas con el papel filtro Waltman N°42. Las concentraciones finales de zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno fueron determinadas en la ciudad de Juliaca por el laboratorio RHLAB S.A.C.

4. Se llevaron a cabo pruebas de remoción de zinc mediante la modificación de los niveles de pH en un rango de 3,5 a 5,84 para llegar al pH deseado, las soluciones que se utilizaron fueron el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{HNO}_3$  0,1 M según fuera conveniente, la

cantidad de carbón activado utilizado fue de 0,05 a 0,10 mg.

#### Figura 4

##### *Número de pruebas con agitación magnética*



5. Con el objetivo de utilizar carbón activado se introdujo en cada vaso de precipitado las cantidades de 0,05 a 0,10 mg, seguidamente se comenzó a agitar la solución con carbón activado a una velocidad constante de 500 rpm para cada una de las pruebas a tratar. Los tiempos de muestreo fueron de: 20; 40; 75; 100; 120 y 160 minutos. Concluido el tiempo de agitación, se procedió a desconectar el agitador magnético.

Cada una de las soluciones fueron filtradas para así poder recuperar el carbón. El carbón activado que se ha recuperado se almaceno para un posible análisis futuro. Mientras tanto, la solución restante se conservó en contenedores sellados para su análisis posterior.

#### Tabla 6

##### *Valores de carbón activado, pH y tiempos utilizados*

| Nº de Pruebas | Carbón activado (mg) | pH   | Tiempo (min) |
|---------------|----------------------|------|--------------|
| 1             | 0,05                 | 3,5  | 20           |
| 2             | 0,06                 | 3,77 | 40           |
| 3             | 0,07                 | 4,0  | 75           |
| 4             | 0,08                 | 4,75 | 100          |
| 5             | 0,09                 | 5,5  | 120          |
| 6             | 0,10                 | 5,84 | 160          |



Una de las más significativas variables en la etapa de la remoción de zinc es el pH, así mismo la duración de mezclado juega un rol crucial para el procedimiento de remoción en el proceso de captura, toda vez que altera el estado de equilibrio de las reacciones de hidrólisis mediante la incorporación de carbón metálico, esta adición causa un aumento automático del nivel de acidez o alcalinidad.

El nivel de acidez o alcalinidad y la duración del proceso de mezclado son factores muy influyentes que están involucrados en el proceso de adsorción ya que estos intervienen en el proceso de adsorción. El pH y el tiempo de agitación son determinantes debido a su impacto en los diferentes equilibrios de hidrólisis que se generan por la adición del catión metálico.

### **3.6. DETERMINAR EL MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE REMOCIÓN DE ZINC CON CARBÓN ACTIVADO POR EL PROCESO DE AGITACION MAGNETICA Y LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.**

#### **3.6.1. Desarrollo del modelo matemático y su isoterma de adsorción.**

Para llevar a cabo la formulación matemática experimental, se emplea el software Statgraphics Centurión XVI, una herramienta estadística que ayuda en la planificación eficiente de la experimentación lo cual utiliza un número específico de pruebas para lograr establecer la relevancia de cada una de las variables independientes examinadas. El diseño factorial se basa en generar datos, lo que implica un modelo de regresión múltiple, en el cual el cálculo de la matriz inversa es simple.

$$N = 2^k$$

Siendo:



$N$  = Total de ensayos realizados

$k$  = Total de variables

En nuestra situación, tal como se mencionó previamente, realizamos un experimento la cual depende de dos factores, cada uno con 2 niveles. Por lo tanto, se requieren:

Total de ensayos realizados:  $N=2^k = 2^2 = 4$  ensayos

El enfoque para resolver esto será el siguiente:

$$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2 + b_3X_1X_2$$

Donde:

$Y$  = Variable respuesta rendimiento

$X_1, X_2$  = Variables codificadas de entrada: pH y tiempo de adsorción.

$X_1X_2$  = Interacciones entre las dos variables principales

Para empezar, encontramos los valores de  $X_1$  y  $X_2$  en función de las variables de entrada del proceso. Luego, calculamos los valores de  $b_0, b_1, b_2, b_3$ , que son estimaciones de los coeficientes de regresión, en relación a la variable de respuesta o rendimiento. ( $Y$ ).

### 3.6.2. Identificación de las variables de trabajo

El presente estudio de investigación se centra en que se eligieron 2 variables con el propósito de evaluar la cantidad de zinc que se puede adsorber utilizando carbón activado, siendo estas el tiempo de adsorción y el pH, se

utilizaron rangos más óptimos para el proceso, con lo cual se ha trabajado en función a los factores y niveles, que se detallan en la tabla a continuación.

**Tabla 7**

*Identificación de variables y niveles de operación*

| FACTOR              | SIMBOLO        | UNIDAD  | NIVEL INFERIOR (-) | NIVEL SUPERIOR (+) |
|---------------------|----------------|---------|--------------------|--------------------|
| Tiempo de adsorción | X <sub>1</sub> | minutos | 20                 | 160                |
| pH                  | X <sub>3</sub> | Escalar | 3,5                | 5,84               |

### 3.6.3. Rendimiento de remoción de metales (Zn)

En cuanto a la determinación de la variable de respuesta del diseño factorial, se procedió a calcular la cantidad de zinc recuperado en forma de porcentaje de la siguiente manera:

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

Dónde:

C<sub>i</sub>= concentración inicial del zinc en la muestra de agua.

C<sub>f</sub>= concentración final de la muestra después de la adsorción.

**Tabla 8**

*Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial del Zn*

| Nº DE PRUEBA | Concentración de Zn inicial (mg/L) | Concentración de Zn después de la adsorción (mg/L) | RENDIMIENTO % |
|--------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------|
| 1            | 0,351                              | 0,04032                                            | 88,5138       |
| 2            | 0,351                              | 0,04693                                            | 86,6308       |
| 3            | 0,351                              | 0,04463                                            | 87,2858       |
| 4            | 0,351                              | 0,04773                                            | 86,4028       |
| 5            | 0,351                              | 0,04578                                            | 86,9583       |
| 6            | 0,351                              | 0,04578                                            | 86,9583       |

Nuestro diseño factorial implementado consta de un total de 6 combinaciones experimentales en el diseño factorial, este diseño factorial nos proporciona una visión clara de los efectos de las variables, lo que nos permitirá visualizar tanto los efectos individuales como los resultados finales de manera más precisa.

Las pruebas de la tabla 8 indican los diferentes porcentajes de rendimiento (cantidad de zinc recuperado), siendo la prueba 1 la que indica un mejor rendimiento de remoción del zinc con un valor de 0,04032 (88,5138 %).

### Tabla 9

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

| N° DE PRUEBA | COMBINACION DE NIVELES |                | VARIABLE RESPUESTA (Y) |
|--------------|------------------------|----------------|------------------------|
|              | X <sub>1</sub>         | X <sub>2</sub> |                        |
| 1            | 20                     | 3,5            | 0,885                  |
| 2            | 160                    | 3,5            | 0,866                  |
| 3            | 20                     | 5,84           | 0,872                  |
| 4            | 160                    | 5,84           | 0,864                  |
| 5            | 90                     | 4,67           | 0,869                  |
| 6            | 90                     | 4,67           | 0,869                  |

Gracias a los valores registrados en la tabla 9, se logró determinar el número de pruebas experimentales a realizar se calculó al combinar los valores máximo y mínimo de dos factores establecidos en la tabla. Siendo el diseño  $2^2$  con 4 pruebas experimentales por diseño factorial y 2 pruebas de refuerzo siendo un total de 6 pruebas experimentales.

#### 3.6.4. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $Zn^{+2}$ según

##### Langmuir

$$\text{Ecuación de Langmuir } \frac{Ce}{m} = \frac{1}{KV_m} + \frac{Ce}{V_m}$$



**Forma lineal**  $C/q = 1/b C + 1/kb$

$$q = X/m$$

$$X = C_o - C_e$$

Donde:

$C_o$ =Concentración de referencia

$C_e$ = Concentración en el fluido

$x/m$ = Carga

$m$ = Masa del adsorbente

$x$ =Masa del adsorbato

$q$ = Cantidad adsorbida

Los datos utilizados para determinar la isoterma según Langmuir fueron los siguientes:

**Tabla 10**

*Valores de la cantidad de carbón activado y la concentración*

| Masa carbón activado<br>(mg)<br>$C_o$ | Concentración en el equilibrio<br>(mg/L)<br>$C_e$ |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 0.05                                  | 0,04032                                           |
| 0.06                                  | 0,04392                                           |
| 0.07                                  | 0.04463                                           |
| 0.08                                  | 0.04473                                           |
| 0.09                                  | 0.04577                                           |
| 0.1                                   | 0.04598                                           |



### 3.6.1. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $Zn^{2+}$ según

#### Freundlich

Ecuación lineal de Freundlich:  $\text{Log } q = \frac{1}{n} \text{Log } C + \text{Log } K_d$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA LA REMOCIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO

##### 4.1.1. Caracterizar las aguas residuales de la ciudad de Puno contaminadas con zinc

La naturaleza física y química de las aguas residuales en la ciudad de Puno, fueron caracterizadas a través de los análisis físico-químico, las cuales fueron tomadas en promedio de tres muestras que fueron analizados en los laboratorios de la ciudad de Juliaca RHLAB S.A.C.-RH-M83-0417.

**Tabla 11**

*Resultado de las pruebas de remoción del Zn en las muestras de aguas residuales de la ciudad de Puno*

| Metal       | Unidad de Medida | Análisis de las aguas residuales de la bahía interior<br>Promedio de 6 muestras de Zn (mg/L) | D.S. 004-2017-MINAM de lo límites máximos permisibles de descarga en los ríos y lagos<br>Zn (mg/L) |
|-------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Zinc</b> | mg/L             | 0,351                                                                                        | 0,12                                                                                               |

Fuente: RHLAB S.A.C.-RH-M83-0417 de la ciudad de Juliaca

El carbón activado de eucalipto granular comercial es de malla 70 y se utiliza para tratamiento de agua a nivel industrial y comercial.



#### **4.2. PARÁMETROS ÓPTIMOS DE pH Y TIEMPO DE REMOCIÓN DE ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO, POR EL PROCESO DE AGITACIÓN MAGNÉTICA.**

El método de adsorción depende de varios atributos físico-químicos del zinc, particularmente el pH.

Los factores que tienen el mayor impacto en el proceso de adsorción son el potencial de hidrogeno y el tiempo de agitación. Como resultado de la adición de catión metálico, su influencia es significativa porque afecta todos los equilibrios de hidrólisis que se producen.

La adición de cationes metálicos provoca el aumento automático del pH y cuanto mayor sea dosis, mayor es la alcalinidad en el agua, lo que es otra razón por la que el pH es tan importante para el proceso.

Se utilizó un modelo matemático mediante experimentación y estadística para determinar el impacto que provoca el pH al momento de la adsorción del zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno. Los parámetros ideales con los siguientes: Con una velocidad de agitación constante de 500 rpm, con un y con un tiempo de 20 minutos, teniendo así el coeficiente de correlación  $R^2 = 88,51 \%$ .

El porcentaje de remoción de zinc se muestra en la Tabla 12, después del procedimiento de adsorción de zinc con carbón activado con una tasa de remoción de 88,5138 % para una sola toma de carbón activado de 50 mg, que equivale a una remoción de 0,04032 mg/L y un pH de 3,5.

**Tabla 12**

*Resultados de la concentración de Zn recuperado de la muestra tratada con carbón activado granulado comercial*

| N° de Pruebas | pH   | Tiempo min | Concentración de Zn inicial (mg/L) | Concentración de Zn después de la adsorción (mg/L) | RENDIMIENTO |
|---------------|------|------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------|
| 1             | 3,5  | 20         | 0,351                              | 0,04032                                            | 0,885       |
| 2             | 3,77 | 40         | 0,351                              | 0,04693                                            | 0,866       |
| 3             | 4,00 | 75         | 0,351                              | 0,04663                                            | 0,872       |
| 4             | 4,75 | 100        | 0,351                              | 0,04773                                            | 0,864       |
| 5             | 5,50 | 120        | 0,351                              | 0,04578                                            | 0,869       |
| 6             | 5,85 | 160        | 0,351                              | 0,04578                                            | 0,869       |

Los cálculos del rendimiento se observan en el anexo 3.

En la tabla 12 podemos apreciar el número de pruebas que se realizó, así también podemos observar las variables más importantes para la determinación de la isoterma que fueron el pH y el tiempo, es preciso tener presente que la concentración inicial del material experimental fue de 0,351 mg/L de zinc en el agua y que la remoción que mejor rendimiento obtuvo fue la prueba número 1.

#### **4.3. MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE REMOCIÓN DE ZINC CON CARBÓN ACTIVADO, POR EL PROCESO DE AGITACIÓN MAGNÉTICA Y LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.**

##### **4.3.1. Modelo matemático**

El programa estadístico Statgraphics Centurión XVI utilizado para determinar el modelo matemático que ha quedado demostrado por los resultados del experimento donde se llega a la conclusión de que la variable más importante es el pH para el proceso de adsorción del ion zinc de las aguas residuales de la

ciudad de Puno con un valor de 3,5, con un coeficiente de correlación de 88,51 %  
y un modelo matemático de:

$$Y = 89.4669 - 0.00987857 * \text{pH} - 0.311111 * \text{Tiempo}$$

#### 4.3.2. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $\text{Zn}^{2+}$ según

##### Langmuir

Las curvas experimentales obtenidas se presentan a continuación, los valores obtenidos se presentan en el anexo 3 para el metal zinc, tanto para Langmuir como para Freundlich.

**Tabla 13**

*Resultados de los experimentos de adsorción de Zn de las aguas residuales de la ciudad de Puno con carbón activado-isoterma de Langmuir*

| Masa carbón activado (mg) | Concentración en el equilibrio (mg/L) |         |        | Eje X   | Eje Y   |
|---------------------------|---------------------------------------|---------|--------|---------|---------|
| Co                        | Ce                                    | X=Co-Ce | q=X/m  | Ce      | Ce/q    |
| 0,05                      | 0,04032                               | 0,00968 | 0,1936 | 0,04032 | 0,20826 |
| 0,06                      | 0,04392                               | 0,01648 | 0,2746 | 0,04392 | 0,15844 |
| 0,07                      | 0,04463                               | 0,02537 | 0,3624 | 0,04463 | 0,12314 |
| 0,08                      | 0,04473                               | 0,03527 | 0,4408 | 0,04473 | 0,10145 |
| 0,09                      | 0,04577                               | 0,04423 | 0,4914 | 0,04557 | 0,09313 |
| 0,1                       | 0,04598                               | 0,05402 | 0,5402 | 0,04597 | 0,08511 |

**q** = Concentración del adsorbato sobre la superficie del adsorbente

**Ce** = Concentración de iones zinc en el equilibrio presentes en la solución

En la tabla 13 se muestra las pruebas de remoción de las pruebas que se realizaron utilizando 0,05 g, 0,06 g, 0,07 g, 0,08 g, 0,09 g y 0,1 g de masa de carbón activado de eucalipto, después de cada proceso de adsorción se halló la

concentración final del zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno, estos valores fueron hallados por espectrofotometría de absorción atómica.

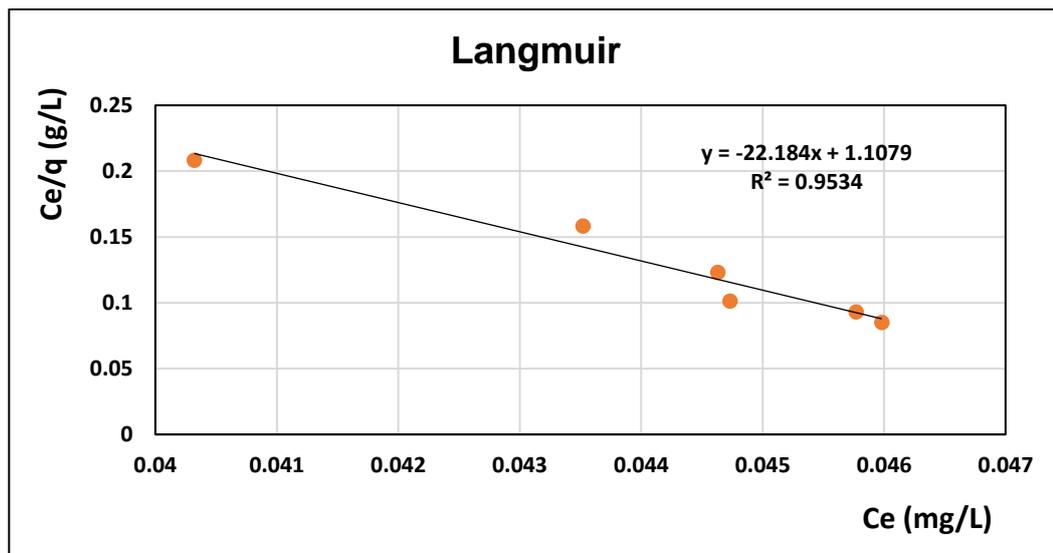
**Tabla 14**

*Análisis estadístico de parámetros de la isoterma de Langmuir*

| Metal | q (promedio)<br>(g) | b<br>(L/mg)            | R <sup>2</sup> | K      |
|-------|---------------------|------------------------|----------------|--------|
| Zinc  | 0.38383             | -4,50x10 <sup>-2</sup> | 0.9534         | -20,05 |

**Figura 5**

*Isoterma con carbón activado según Langmuir Ce/q Vs Ce*



La figura 5 muestra la isoterma de Langmuir con un patrón lineal, donde el coeficiente de determinación fue de 0.9534 que es un valor cercano a 1. Este valor muestra que el Zn fue adsorbido en la superficie adsorbente en forma de monocapa, lo cual indica que el valor es adecuado ya que este es cercano a 1, además de ello, según (Huamán, 2015) obtuvo la isoterma de Langmuir  $R^2 = 0,9845$  utilizando el metal Zn, lo cual indica que los resultados fueron adecuados para este proceso.



La ecuación de la recta de la isoterma de Langmuir se muestra en la Figura

6.

$$Y = -22,184X + 1,1079$$

$$R^2 = 0,9534$$

$$Y = mX + b$$

Donde:

$$\text{Pendiente} = -22,013$$

$$\text{Ordenada} = 1,1003$$

Se encuentra el valor de b

$$1/b = m \quad 1/m = b \quad 1/(-22,184) = b \quad b = -4,50 \times 10^{-2}$$

Se encuentra el valor de k

$$1/kb = 1,1079 \quad 1/1,1079b = k \quad k = 1/(1,1079)(-4,50 \times 10^{-2}) \quad k = -20,05$$



**Tabla 15**

*Resultados de los experimentos de adsorción de Zn con valores de 1/Ce y 1/q-  
isotermas de Langmuir*

| Concentración en el equilibrio (mg/L) |        |          |         |
|---------------------------------------|--------|----------|---------|
| Ce                                    | q=X/m  | 1/Ce     | 1/q     |
| 0,04032                               | 0,1936 | 24,80158 | 5,16528 |
| 0,04392                               | 0,2746 | 22,97794 | 3,64077 |
| 0,04463                               | 0,3624 | 22,40645 | 2,75916 |
| 0,04473                               | 0,4408 | 22,35636 | 2,26821 |
| 0,04577                               | 0,4914 | 21,84837 | 2,03481 |
| 0,04598                               | 0,5402 | 21,74858 | 1,85116 |

De la tabla 15 se muestran los valores 1/Ce (concentración en el equilibrio) y 1/q (concentración del adsorbente), siendo estos valores importantes para calcular la isoterma de Langmuir mediante la ecuación de regresión de 1/Ce vs 1/q dando como resultado el mejor valor para el adsorbente sobre la superficie.

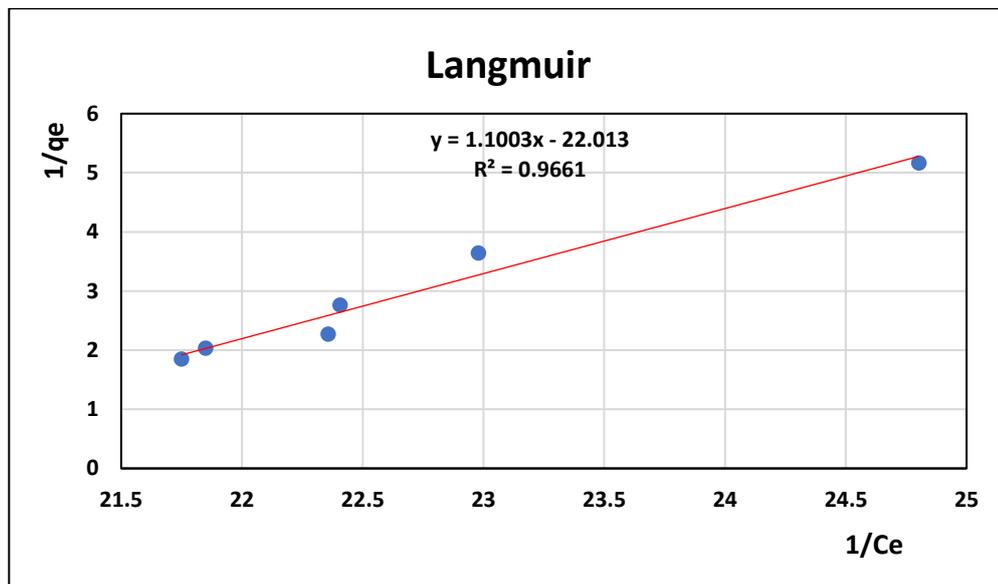
**Tabla 16**

*Análisis estadístico de los parámetros de la isoterma de Langmuir*

| Metal | q (promedio)<br>(g) | b<br>(L/mg) | R <sup>2</sup> | Kd     |
|-------|---------------------|-------------|----------------|--------|
| Zinc  | 0.38383             | 0,9088      | 0.9661         | 0,0499 |

**Figura 6**

*Isoterma con carbón activado según Langmuir  $1/q_e$  vs  $1/C_e$*



Como se muestra en la Figura 6, la ecuación de regresión lineal y el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) indican que el modelo de Langmuir se ajusta en un 0.9661 a los datos experimentales.

La tabla 16 muestra el valor de las constantes de Langmuir. De acuerdo a la tabla 16 el valor de  $q$  es de 0.38383 mg/g, el valor nos indica la capacidad de unión del sorbente, lo que quiere decir, que la sorción máxima después de que la superficie adsorbente se haya saturado por completo. El valor obtenido de  $b$  fue de 0,9088 L/g. que representa la constante de unión (pendiente), dicho de otra manera, la cual está relacionada con la energía de adsorción/desorción. Se determinó que el carbón activado de eucalipto fue favorable para la adsorción del zinc. Lo cual se podrá contrastar con la posterior investigación.

En su trabajo de investigación Sovero y Chuquillanqui (2021) determinaron que la cantidad de zuro de maíz utilizada fue de 0,4 g y 0,8 g, las dimensión de partículas des zuro de maíz fueron de 0,5 mm y 1 mm y trabajaron



con un pH ácido de 5 y 6; la muestra fue analizada por adsorción atómica el cual presentaba una concentración de 89 mg/L de zinc cuyo valor supero el LMP de 1,5 mg/L para el zinc, se hizo corridas experimentales de las aguas acidas el cual dio un valor de concentración final de 0,12 mg/L, el cual removió un 99,87 % de zinc, se usó zuro de maíz para el proceso de adsorción del Zn (II), de tal manera se evaluaron las isothermas de adsorción de Freundlich, Langmuir y Temkim las mismas que mostraron los diferentes coeficientes de correlación de 0,9499; 0,9063 y 0,8055 donde la isoterma de Langmuir demostró una adsorción en monocapa.

En nuestro trabajo utilizamos el carbón activado de eucalipto como adsorbente, el cual se trabajó a temperatura ambiente para la remoción del ion zinc donde la masa del carbón utilizada fue de 0,5 a un pH de 3,5 teniendo una remoción del 88,51 %, nuestros resultados difieren en este punto posiblemente por los valores utilizados y las condiciones en las que se usó , por otra podemos afirmar con los resultados de Sovero y Chuquillanqui (2021) que hay mejor remoción trabajando con cantidades bajas de adsorbente, lo que determina que la adsorción no siempre se da utilizando grandes cantidades de adsorbente.

Para la isoterma de Langmuir se difiere con el resultado de Sovero y Chuquillanqui (2021) ya que en su trabajo investigativo el valor obtenido de Langmuir fue de 0,9063 y en nuestro trabajo de investigación fue de 0,9661 lo que demuestra que el carbón activado tiene una mayor remoción que el zuro de maíz, estas pueden diferenciarse por su dureza, tamaño o área superficial al momento de la adsorción.



El modelo de Langmuir, cuyo comportamiento se representa mediante la siguiente ecuación, se muestra en la figura 6.

La ecuación linealizada es la siguiente:

**Forma lineal de Langmuir**  $C/q = 1/b C + 1/kb$

$$q = X/m$$

$$X = C_0 - C_e$$

Donde:

$C_0$ =Concentración de referencia

$C_e$ = Concentración en el fluido

$x/m$ = Carga

$m$ = Masa del adsorbente

$x$ =Masa del adsorbato

$q$ = Cantidad adsorbida

Los siguientes datos se utilizaron con el objetivo de determinar la isoterma según Langmuir:

Ecuación de la recta para la isoterma de Langmuir de acuerdo a la figura 6

$$Y=1,1003X-22,013$$

Donde:

Pendiente=1,1003

Ordenada=-22,013

Se encuentra el valor de  $b$

$$1/b = m \ 1/m = b \ 1/(1,1003) = b \ b=0,9088$$



Se encuentra el valor de k

$$\frac{1}{kb} = -22,013 \quad 1/-22,013b = k \quad k = 1/(-22,013)(0,9088) \quad k=-0,0499$$

#### 4.3.3. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $Zn^{2+}$ según Freundlich

Se define la distribución de las concentraciones del adsorbato por el coeficiente de distribución ( $K_d$ ), la cual se relacionan a través de la adsorción y movilidad de los metales pesados en sedimento.

$$K_d = C_s/C_e$$

$K_d$ , es una medida relativa de la afinidad del adsorbente por el adsorbato, igualmente es lo contrario para el intercepto en la ecuación de Langmuir, lo que actúa como un indicador en la extensión de la adsorción.

La isoterma de Freundlich es un modelo empírico diseñado para ajustar datos de adsorción considerando una relación exponencial entre la cantidad adsorbida ( $X$ ) y la concentración de equilibrio del adsorbato ( $C_e$ ), los mismos que no se ajustan a los modelos teóricos de Langmuir. La ecuación, en su forma linealizada es:

$$\log X = \log k + n \log C_e$$

Donde  $K_d$  y  $n$  son constantes empíricas. Una gráfica de  $\log X$  vs  $\log C_e$  da una línea recta.

**Tabla 17***Resultados de la isoterma de Freundlich*

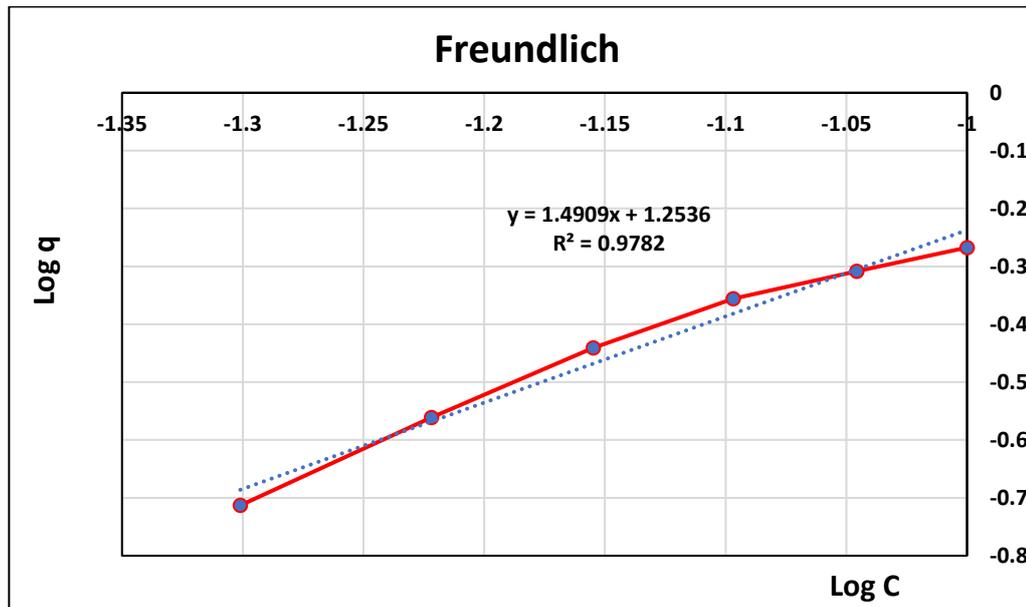
| <b>q=x/m</b> | <b>C</b> | <b>Eje X<br/>Log C</b> | <b>Eje Y<br/>Log q</b> |
|--------------|----------|------------------------|------------------------|
| 0,1936       | 0,05     | - 1,30102              | - 0,71309              |
| 0,2746       | 0,06     | -1,22184               | -0,56129               |
| 0,3624       | 0,07     | -1,15490               | -0,44081               |
| 0,4408       | 0,08     | -1,09691               | -0,35575               |
| 0,4914       | 0,09     | -1,0457                | -0,30856               |
| 0,5402       | 0,1      | -1,00000               | -0,26744               |

De la tabla 17 se muestran los valores log C del eje X (concentración en el equilibrio) y log q del eje Y (concentración del adsorbente), siendo estos valores importantes para calcular la isoterma de Freundlich mediante la ecuación de regresión de Log C vs Log Q dando como mejor valor sobre la concentración en la superficie de un adsorbente con la concentración de soluto en el líquido en contacto.

**Tabla 18***Análisis estadístico de parámetros de la isoterma de Freundlich*

| <b>Metal</b> | <b>q (promedio)<br/>(g)</b> | <b>I/n (b)<br/>(L/mg)</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>Kd</b> |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|-----------|
| <b>Zinc</b>  | 0,38383                     | 0,6707                    | 0.9782               | 0,05576   |

**Figura 7**  
*Isoterma según Freundlich*



Se observa en la figura 7 que el coeficiente de regresión para la ecuación de Freundlich es de 0,9782, valor que, al estar muy cercano a la unidad, lo cual significa que el modelo se ajustó perfectamente a los datos experimentales.

En la tabla 18 se muestran las constantes de Freundlich donde se observan los valores de  $K_d$  y  $n$  que determinan la inclinación y la curvatura de la isoterma. El valor de  $1/n$  es de 0,6707 al ser menor a la unidad indica que se produjo una adsorción significativa a bajas concentración, pero el aumento de la cantidad adsorbida con la concentración se vuelve menos significativo a concentraciones más altas y viceversa. Además, el valor de  $K_d$  fue de 0,05576; en conclusión cuanto mayor sea este valor mayor será la intensidad de adsorción de Zn (II). El cual se podrá verificar con la siguiente investigación.

En su trabajo de investigación Huamán (2015) utilizó los métodos de adsorción para las isotermas de Freundlich y Langmuir con lo cual estableció los contenidos de plomo, cadmio, y zinc que se encuentran en el Aloe Vera (sábila)



obteniendo como resultados  $0,164 \text{ mg/kg}$  para el plomo;  $0,006 \text{ mg/kg}$  para el cadmio y  $0,6955 \text{ mg/kg}$  para el zinc, Así también, los diferentes porcentajes de adsorción fueron los siguientes: para el Cadmio fue de 81,07%, Plomo 72,98% y Zinc 65,93% mostrando mayor porcentaje de adsorción el Cd, demostrando así la capacidad de adsorción de metales la sábila (Aloe Vera) por lo cual la isoterma de Langmuir logró conocer el mecanismo de máxima capacidad de adsorción ( $q_{max}$ ) para un pH óptimo de 5 y se obtuvieron los siguientes resultados  $36,76 \text{ mg/L}$  para el cadmio y su  $R^2 = 0,9954$ ; en cambio se obtuvo  $0,859 \text{ mg/L}$  para el plomo y su  $R^2 = 0,9707$  y por último se obtuvo un resultado de  $2,316$  para el zinc  $\text{mg/L}$  y el  $R^2 = 0,9845$ , en conclusión las isotermas de Freundlich lograron obtener los siguientes resultados: para el cadmio su  $R^2$  fue de 0,998, para el plomo su  $R^2$  fue de 0,975 y por último para el zinc su  $R^2$  fue de 0,9847 todos a un pH de 5.

En nuestro trabajo de investigación de isotermas de adsorción con carbón activado el coeficiente de correlación para la isoterma de Freundlich fue de 0,9782 lo cual es próximo al resultado de Huamán (2015) ya que ambos utilizaron el zinc como muestra experimental, además de ello en ambos casos se trabajó con un pH ácido lo que indica que hay mayor remoción o adsorción del metal.

Nuestro trabajo difiere con el trabajo de investigación de Huamán (2015) quien uso Aloe Vera (sábila) como adsorbente en cambio nosotros utilizamos carbón activado del eucalipto para remover el ion zinc lo que demuestra que las condiciones de utilización de los adsorbentes en la remoción varía por las propiedades físicas y químicas que estas tienen.

Ecuación de la recta

$$\text{Log } q = \frac{1}{n} \text{Log } C + \text{Log } K_d \text{ y } = 1,4909X - 1.2536$$



Donde:

$q$ =Cantidad adsorbida

$C=C_e$ = Cantidad de liquido

$K_d$ =Fuerza de unión

De acuerdo a la ecuación de la recta:

Pendiente=1,4909

Ordenada=-1.2536

Valor de  $n$ :  $1/n = b$   $1/b = n$   $1/1,4909 = b$   $b=0,6707$

Valor de  $\log K_d = -1.2536$   $K_d=0,05576$

### Tabla 19

*Resultados de los parámetros de las isothermas*

| Modelo     | $q$ (promedio)<br>(g) | $1/n$ (b)<br>(L/mg)    | $R^2$  | $K_d$   |
|------------|-----------------------|------------------------|--------|---------|
| Isotérmico |                       |                        |        |         |
| Langmuir   | 0.38383               | $-4,50 \times 10^{-2}$ | 0.9661 | -20,05  |
| Freundlich | 0.38383               | 0,6707                 | 0.9782 | 0,05576 |



## V. CONCLUSIONES

- Las condiciones en las que se utilizó el carbón activado granular comercial del eucalipto para la remoción de zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno son la dureza y el área superficial que este tiene al momento de adsorber el metal zinc del agua sin provocar erosión de la superficie debido a la fricción que se produce en el proceso de agitación, para ello se tomaron muestras en 3 estaciones diferentes donde la concentración inicial del material experimental fue de 0,351 mg/L de zinc, después del proceso de adsorción la mejor concentración de zinc removido fue de 0,04032 mg/ L con un rendimiento de recuperación del 88,51 %.
- Se definió los parámetros óptimos de pH y tiempo de remoción en la cual se logró la mejor remoción a un pH de 3,5 y un tiempo de adsorción de trabajo de 20 min por el proceso de agitación magnética, lo cual indica que cuando el pH es ácido hay una mejor adsorción del metal zinc en el agua utilizando carbón activado, con ello se puede concluir que a medida que el pH aumenta su alcalinidad la capacidad de adsorción disminuye.
- Se obtuvo un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0,8851$  en la remoción de las aguas residuales de la ciudad de Puno en la bahía interior, el cual indica que el uso de este proceso usando carbón activado es el apropiado, teniendo el modelo matemático.  $Y = 89,4669 - 0,00987857 * \text{pH} - 0,311111 * \text{Tiempo}$ , con las isotermas se pudo obtener los siguientes resultados, para Langmuir su  $R^2=0,9661$  y para Freundlich el  $R^2=0,9782$ .



## VI. RECOMENDACIONES

- Una de las responsabilidades del Municipio del departamento Puno es prevenir la contaminación de las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca, por ello se sugiere que deberían desarrollar planes de control para evitar la descarga de estos contaminantes por medio de la remoción y tratamiento de aguas residuales.
- Se sugiere utilizar otro tipo de material experimental de carbón activado con el propósito de llevar a cabo una comparación y saber la eficiencia en la remoción de metales pesados, ya que es una tecnología limpia y barata.
- La Escuela Profesional de Ingeniería Química de la UNA-PUNO debería sugerir que los trabajos de investigación acerca de la remoción de los metales pesados, puedan dar un buen aporte a la reducción de la contaminación por metales en la región.
- La Escuela Profesional de Ingeniería Química de la UNAP debería organizar conferencias y eventos sobre prácticas de protección ambiental para el público con el fin de informar sobre posibles amenazas la salud, así como a la flora y la fauna.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza, D. (2013). Remoción de metales cobre (Cu) y zinc (Zn) de las aguas del río T'oro Q'ocha por precipitación alcalina en la ciudad de Juliaca. (*Tesis de pregrado*). UNA, Puno.  
[https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/1774/Apaza\\_Asqui\\_Derly\\_Willer.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/1774/Apaza_Asqui_Derly_Willer.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Austin George, T. (1992). *Manual de Procesos Químicos en la Industria*. México: Edit Mc Graw Hill.
- Babel, S. y Kurniawan, T. (2003). Low cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water. *Hazardous Materials B97*. Universidad de Thammasat, Tailandia.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00263-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00263-7)
- Chura, A. & Ponte, L. (2023). Uso del carbón activado de semillas de eucalipto en la remoción de contaminantes del río Huatanay. (*Tesis de pregrado*). Universidad San Ignacio de Loyola – Cusco.  
[file:///C:/Users/User/Downloads/2023\\_CHURA%20DURAND\\_PONTE%20TA RAZONA.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/2023_CHURA%20DURAND_PONTE%20TA RAZONA.pdf)
- Condori, C. (2011). Remoción de plomo (II) y zinc de las aguas residuales de la mina San Genaro por adsorción de carbón activado del eucalipto (*eucalyptus globulus labill*). (*Tesis de pregrado*). UNA, Puno.  
[https://biblioteca.unap.edu.pe/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=63580](https://biblioteca.unap.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=63580)
- Corwin, D.L. y Brandford, S.A. (2008). *Environmental impact and sustainability of degraded water reuse*. *Journal of Environmental Quality*, 37, 1-7.  
<https://doi.org/10.2134/jeq2008.0210>
- Chambi, V. (2022). Recuperación de zinc por el método de adsorción con carbón activado en el río Huancané. Tesis para optar el grado de ingeniero químico. UNA-Puno (*Tesis de pregrado*). Puno.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18330>
- Donoso, M. (2015). Utilización de un adsorbente de bajo costo, aserrín de pino natural y



- modificado con reacción Fenton, para la remoción de contaminantes orgánicos traza (Carbamazepina y Atrazina). (*Tesis de pregrado*). Universidad de Concepción, Chile.
- Espinoza, G. (2012). Problemas ambientales y propuestas para la descontaminación de la ciudad de Puno. INGEOTEC. Puno.  
<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CNM9-014.pdf>
- He, J., Zhang, H., Guo, X., Song, M., Zhang, J. y Li, X. (2014). *Ecological risk and economic loss estimation of heavy metals pollution in the Beijiang River*. *Ecological Chemistry and Engineering*, 21, 189-199.  
<https://doi.org/10.2478/eces-2014-0015>
- Hotz, C. y Brown, K. (2004). International zinc nutrition consultative group (IZiNCG). Assessment of the risk of zinc deficiency of populations and options for its control. *Food and nutrition* 25: S91-S204
- Huamán, R. (2015). Evaluación de la adsorción de Cd, Pb y Zn mediante la utilización de la biomasa obtenida de la sábila (*aloe vera*) en soluciones acuosas. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional del Centro, Huancayo.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/3734>
- Huayhua, M. (2019). Monitoreo al sistema de potabilización de agua en la localidad de Coripata. (Grado de licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz - Bolivia.  
<file:///C:/Users/User/Downloads/PG-2368.pdf>
- Kula, I., Ugurlu, M., Karaoglu, H. y Celik, A. (2008). Adsorción de iones Cd(II) de soluciones acuosas utilizando carbón activado preparado a partir de hueso de aceituna por activación de ZnCl<sub>2</sub>. *Trabajho de Investigación*. Universidad Técnica de Oriente Medio, Turkia.  
[https://scholar.google.com.tr/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=tr&user=GzSh07sAAAAJ&citation\\_for\\_view=GzSh07sAAAAJ:qjMakFHDy7sC](https://scholar.google.com.tr/citations?view_op=view_citation&hl=tr&user=GzSh07sAAAAJ&citation_for_view=GzSh07sAAAAJ:qjMakFHDy7sC)
- Latham, J.L. (2001) "Elementos de Cinética de Reacciones" Ed. El Manual Moderno S.A. México.



- Lavado C, S. R. (2009). Preparación de carbones activados químicamente y su aplicación en la remoción de pb(II) presente en efluentes industriales. (*Tesis de pregrado*). Pontifica Universidad Católica. <https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/2207750/>
- Londoño, L., Londoño, P. y Muñoz, F. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología en el sector Agrapecuario y Agroindustrial* 14(2), 145. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- Lopez, G. (2016). Recuperación de manganeso presente en las aguas residuales proveniente de la mina Geza minerales Asís, por coagulación y floculación. (*Tesis de pregrado*). UNA, Puno.
- Manual del Carbón Activo. Máster en ingeniería del agua.* (2017). Universidad Politécnica de Sevilla: España. <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- Molina, C., Ibañez, C. y Gibon, F. (2012). Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino: Posible riesgo en la salud de consumidores. (*Tesis de pregrado*). Universidad Mayor de San Andrés-Bolivia, Poopó, Oruro. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1605-25282012000200003](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282012000200003)
- Moreno, C. y Garcia, M. (2008). Nuevas alternativas para la simplificación y mejora de la metodología de análisis de metales pesados en muestras ambientales. (*Tesis Doctoral*). Universidad de Cádiz, Colombia. <http://hdl.handle.net/10498/15649>
- Moreno, E., Argota, G., Alfaro, R., Aparicio, M., Atencio, S. y Goyzueta, G. (2017). Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca- Puno Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. UNA-Puno. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.271>
- Qadir, A. y Naseem, R. (2011). *Heavy metals in eight edible fish species from two polluted tributaries (Aik and Palkhu) of the river Chenab, Pakistan*. *Biological*



- Trace Element Research, 143, 1524-15409.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-011-9011-3>
- Quispe, H. (2016). Recuperación de zinc de las aguas residuales de la ciudad de Juliaca por adsorción con salmuera de NaCl y aserrín de pino (*pinus sylvestris*). (Tesis de pregrado). UNA, Puno.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2885>
- Ramalho, R.S. (1991). Análisis Químico e Industrial Moderno. España: Edit. Reverte S.A.
- Rodriguez, 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 para optar el título de Ingeniero Químico. UNA-Puno. (Tesis de pregrado). UNA, Puno.  
[https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18330/Chambi\\_Huarillo\\_ella\\_Vilma\\_Yaneth.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18330/Chambi_Huarillo_ella_Vilma_Yaneth.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Shortle J. (2013). *Economic and Environmental markets: Lessons from Water-quality trading*. Agricultural and Resource Economics Review, 42, 52-74.  
[https://www.researchgate.net/publication/279566755\\_Economics\\_and\\_Environmental\\_Markets\\_Lessons\\_from\\_Water-Quality\\_Trading](https://www.researchgate.net/publication/279566755_Economics_and_Environmental_Markets_Lessons_from_Water-Quality_Trading)
- Sovero, H. y Chuquillanqui, L. (2021), Adsorción de zinc (II) a partir del tamaño de partícula, cantidad del zuro de maíz “zea mays” y el pH de las aguas acidas de la Unidad Minera Kolpa S.A. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro. Huancayo.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/6358>
- Statgraphics Technologies, Inc. (2013). STATGRAPHICS® Centurion XVI. Versión (16.2). sistema operativo Windows. The Plains, Virginia. EE. UU.  
<https://www.statgraphics.com/download-statgraphics-centurion-xvi>
- Tan, K.J. (1998). "Principles of soil chemistry". 3° Ed. Marcel Dekker, Inc. Nueva York.
- Vargas, C., Navarro, P., Eraya, E., Pavez, F. y Alguacil, F.(2006). Recuperación de oro a partir de disoluciones de amoniaco y tiosulfato utilizando carbón activado. Tesis



para optar el grado de ingeniero químico. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, universidad de Santiago de Chile. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Santiago de Chile, Chile.

Wang, C., Hu, X., Gao, Y. y Ji, Y. (2015). Nanoparticles Treatment Induces Apoptosis by Increasing Intracellular ROS Levels in LTP-a-2 Cells. *BioMed Research International* 1- 9.  
<https://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/423287/>

Wang, X. y Zang, S. (2014). *Distribution characteristics and ecological risk assessment of toxic heavy metals and metalloid in surface water of lakes in Daqing Heilongjiang*. *Ecotoxicology, Heilongjiang-China*.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24420619/>

## ANEXOS

### ANEXO 1: Estándares de calidad ambiental (ECA)

**Tabla 20**

*Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establece disposiciones complementarias*

#### **Ambiental (ECA) para agua y establece Disposiciones Complementarias.**

#### **Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

| Parámetros                           | Unidad de medida             | E1: Lagunas y lagos | E2: Ríos   |            | E3: Ecosistemas costeros y marinos |            |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|------------|------------|------------------------------------|------------|
|                                      |                              | Estuarios           | Marinos    |            |                                    |            |
| Costa y sierra                       | Selva                        |                     |            |            |                                    |            |
| <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 (DBO5) | 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> -) (c)     | mg/L                         | 13                  | 13         | 13         | 200                                | 200        |
| Amoniaco 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                           | $\Delta$ 3          | $\Delta$ 3 | $\Delta$ 3 | $\Delta$ 2                         | $\Delta$ 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     |
| Cebra                                | 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     |
| Niquel                               | 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      |

**ANEXO 2:** Cálculos de los experimentos de adsorción de zinc**Tabla 21**

*Cálculos de los experimentos de adsorción de Zn de las aguas residuales de la ciudad de Puno con carbón activado-isoterma de Langmuir*

| Masa carbón activado (mg) | Concentración en el equilibrio (mg/L) |         |        | Eje X    | Eje Y   |
|---------------------------|---------------------------------------|---------|--------|----------|---------|
| Co                        | Ce                                    | X=Co-Ce | q=X/m  | Ce       | Ce/q    |
| 0.05                      | 0.04032                               | 0.00968 | 0.1936 | 0,04032  | 0.20826 |
| 0.06                      | 0,04392                               | 0.01648 | 0.2746 | 0,04392  | 0.15844 |
| 0.07                      | 0.04463                               | 0.02537 | 0.3624 | 0.04463  | 0.12314 |
| 0.08                      | 0.04473                               | 0.03527 | 0.4408 | 0.04473  | 0.10145 |
| 0.09                      | 0.04577                               | 0.04423 | 0.4914 | 0.045575 | 0.09313 |
| 0.1                       | 0.04598                               | 0.05402 | 0.5402 | 0.045975 | 0.08511 |

**Tabla 22**

*Datos experimentales de adsorción de Zn con valores de 1/Ce y 1/q -isoterma de Langmuir*

| Concentración en el equilibrio (mg/L) |        |          |         |
|---------------------------------------|--------|----------|---------|
| Ce                                    | q=X/m  | 1/Ce     | 1/q     |
| 0.04032                               | 0.1936 | 24.80158 | 5.16528 |
| 0,04392                               | 0.2746 | 22.97794 | 3.64077 |
| 0.04463                               | 0.3624 | 22.40645 | 2.75916 |
| 0.04473                               | 0.4408 | 22.35636 | 2.26821 |
| 0.04577                               | 0.4914 | 21.84837 | 2.03481 |
| 0.04598                               | 0.5402 | 21.74858 | 1.85116 |



**Tabla 23**

*Valores para la isoterma de Freundlich*

|              |          | <b>Eje X</b> |  | <b>Eje Y</b> |  |
|--------------|----------|--------------|--|--------------|--|
| <b>q=x/m</b> | <b>C</b> | <b>Log C</b> |  | <b>Log q</b> |  |
| 0.1936       | 0.05     | - 1.30102    |  | -0.71309     |  |
| 0.2746       | 0.06     | -1.22184     |  | -0.56129     |  |
| 0.3624       | 0.07     | -1.15490     |  | -0.44081     |  |
| 0.4408       | 0.08     | -1.09691     |  | -0.35575     |  |
| 0.4914       | 0.09     | -1.04575     |  | -0.30856     |  |
| 0.5402       | 0.1      | -1           |  | -0.26744     |  |



### ANEXO 3: Cálculos de la metodología de investigación

#### ➤ RENDIMIENTO DE REMOCIÓN DEL ZINC

Fórmula para la determinación del rendimiento de zinc

$$RENDIMIENTO = \frac{C_i - C_f}{C_i}$$

Dónde:

C<sub>i</sub>= concentración inicial del zinc en la muestra de agua.

C<sub>f</sub>= concentración final de la muestra después de la adsorción.

Ejemplo:

Concentración inicial del zinc = 0,351 mg/L

La tabla 24 indica la concentración final de zinc tratado con carbón activado.

**Tabla 24**

*Cálculo del rendimiento para el diseño factorial del Zn*

| Concentración inicial<br>de Zn (mg/L) | Concentración final<br>de Zn (mg/L) | Rendimiento |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| 0,351                                 | 0,04032                             | 0,885       |
| 0,351                                 | 0,04693                             | 0,866       |
| 0,351                                 | 0,04463                             | 0,872       |
| 0,351                                 | 0,04773                             | 0,864       |
| 0,351                                 | 0,04578                             | 0,869       |
| 0,351                                 | 0,04578                             | 0,869       |



Cálculos del rendimiento:

$$1. R = \frac{0,351-0,04032}{0,351} = 0,885$$

$$2. R = \frac{0,351-0,04693}{0,351} = 0,866$$

$$3. R = \frac{0,351-0,04463}{0,351} = 0,872$$

$$4. R = \frac{0,351-0,04773}{0,351} = 0,864$$

$$5. R = \frac{0,351-0,04578}{0,351} = 0,869$$

$$6. R = \frac{0,351-0,04578}{0,351} = 0,869$$

Cálculos del rendimiento en %:

$$7. \% = \frac{0,351-0,04032}{0,351} \times 100 = 88,5138$$

$$8. \% = \frac{0,351-0,04693}{0,351} \times 100 = 86,6308$$

$$9. \% = \frac{0,351-0,04463}{0,351} \times 100 = 87,2858$$

$$10. \% = \frac{0,351-0,04773}{0,351} \times 100 = 86,4028$$

$$11. \% = \frac{0,351-0,04578}{0,351} \times 100 = 86,9583$$

$$12. \% = \frac{0,351-0,04578}{0,351} \times 100 = 86,9583$$

**ANEXO 4:** Modelo matemático - Análisis estadístico para el zinc**Tabla 25***Efectos estimados para Y*

| <b>Efecto</b> | <b>Estimado</b> | <b>Error Estándar</b> | <b>V.I.F.</b> |
|---------------|-----------------|-----------------------|---------------|
| promedio      | 61.4233         | 12.1577               |               |
| A: pH         | -0.0280551      | 0.0067619             | 1.0           |
| B: Tiempo     | -43.5556        | 19.943                | 1.0           |

Errores estándar basados en el error total con 3 grados de libertad.

Las estimaciones de cada efecto e interacción estimados se presentan en la tabla 25, donde el error estándar de cada efecto se presenta como una medida de su error muestral, Factores de inflación de varianza máxima (V.I.F.) iguales a 1-0; para un diseño completamente ortogonal, todos los factores son iguales a 1, 10 o más factores, estos generalmente se interpretan como indicadores de confusión severa entre los efectos. (Statgraphics Technologies, 2013).

**Tabla 26***Análisis de varianza para Y*

| <b>Fuente</b> | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| A: Tiempo     | 1.91269                  | 1         | 1.91269               | 17.21          | 0.0254         |
| B: pH         | 0.529984                 | 1         | 0.529984              | 4.77           | 0.1169         |
| Error total   | 0.333333                 | 3         | 0.111111              |                |                |
| Total (corr.) | 2.77601                  | 5         |                       |                |                |

R-cuadrada = 87.9923 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 79.9872 por ciento



Error estándar del est. = 0.333333

Error absoluto medio = 0.222222

Estadístico Durbin-Watson = 2.25 (P=0.7283)

La variabilidad de Y para cada uno de los efectos se divide en partes independientes de la tabla ANOVA. Luego se prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su raíz cuadrática media con una estimación del error experimental, En este caso, un efecto de 1 tiene un valor P inferior a 0,05, lo que indica que son significativamente diferentes de 0 en un nivel de confianza del 95,0%. (Statgraphics Technologies, 2013).

El estadístico R cuadrado muestra que el modelo ajustado explica el 87,9923% de la variabilidad en Y, y el estadístico R cuadrado ajustado es el 79,9872%, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, según el error estándar estimado para la desviación estándar en los residuos es 0,333333 y para el valor promedio de los residuos es de 0,222222 en el error medio absoluto (MAE), No hay evidencia de autocorrelación serial para los residuos en el nivel de significancia al 5.0% (Statgraphics Technologies, 2013).

### Tabla 27

*Coefficiente de regresión para Y*

| <b>Coefficiente</b> | <b>Estimado</b> |
|---------------------|-----------------|
| constante           | 89.4669         |
| A: Tiempo           | -0.00987857     |
| B: pH               | -0.311111       |

La ecuación de regresión que se ajustó a los datos se despliega en esta ventana.

La ecuación para el modelo ajustado es la siguiente:

$$Y = 89.4669 - 0.00987857 * \text{pH} - 0.311111 * \text{Tiempo}$$

donde se especifican que el valor de una variable se expresa en sus unidades originales en lo que el programa STATGRAPHICS evalúa esta función, seleccionando el pronóstico en la lista de Opciones de la tabla en forma tabular (Statgraphics Technologies, 2013).

**Tabla 28**

*Optimizar respuesta*

| Factor | Bajo | Alto  | Óptimo |
|--------|------|-------|--------|
| Tiempo | 20.0 | 160.0 | 20.0   |
| pH     | 3.5  | 5.84  | 3.5    |

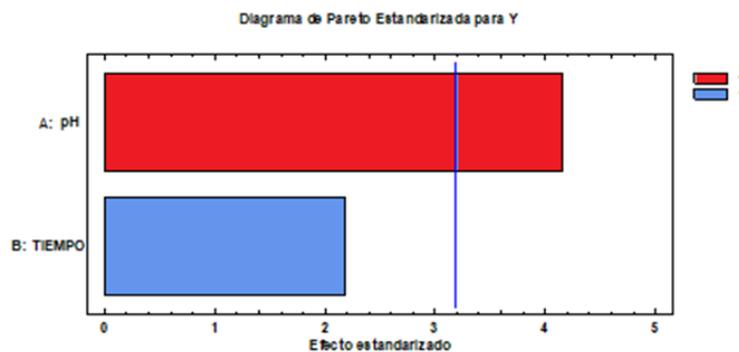
Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 88.1805

Una combinación de niveles de factores que maximiza el rango en cuestión., la cual se muestra en esta tabla.

**Figura 8**

*Diagrama de Pareto*



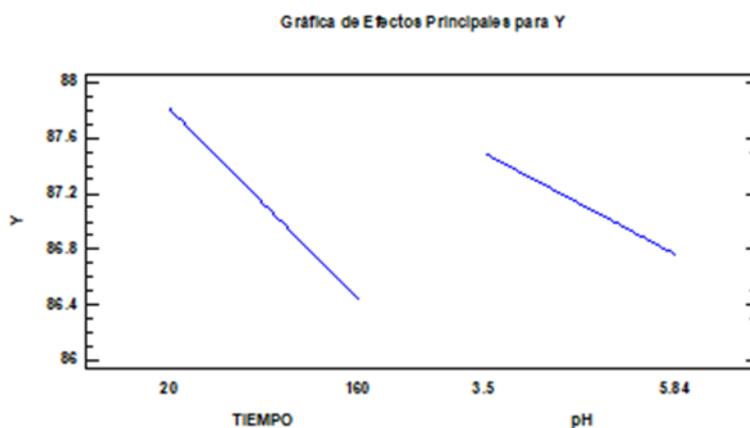
Fuente: (Statgraphics Technologies, 2013).

Esta ventana indica la ruta de despegue, por este camino actualmente en el centro del rango experimental a lo largo del cual la respuesta estimada cambia rápidamente con cambios mínimos en los factores experimentales, donde la figura 8 muestra un buen lugar para experimentación adicional si su objetivo es aumentar o disminuir el rendimiento, y muestra un diagrama de Pareto, una representación gráfica del análisis de varianza que muestra los factores más influyentes para cada uno. (Statgraphics Technologies, 2013).

La remoción (adsorción) de Zn rojo es directamente proporcional a la variable respuesta (capacidad de adsorción de Zn), como se muestra en la Figura 9, donde se ubica Línea vertical dependiendo del intervalo de confianza dado (89%). Cualquier influencia más allá de este límite es crítica para el proceso, teniendo al pH como variable de gran influencia. (Statgraphics Technologies, 2013).

### Figura 9

#### *Interacciones para el rendimiento*



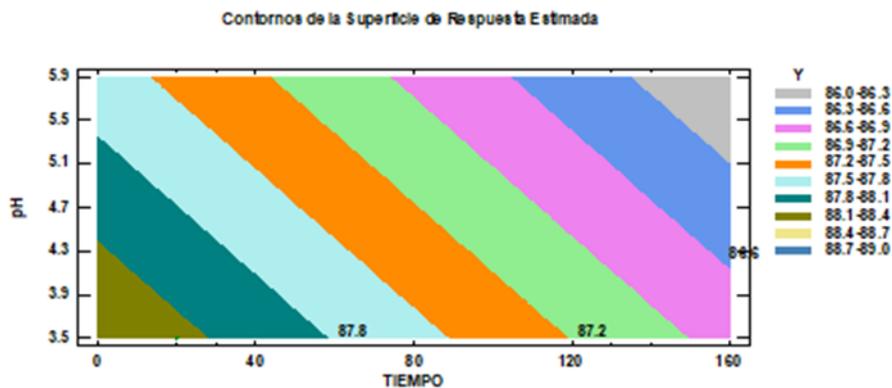
Fuente: (Statgraphics Technologies, 2013).

Como se muestra en la figura 9, no hay interacción entre combinaciones de variables, por lo que estas variables son independientes, se ajustan a la superficie de

respuesta y todas las variables tienen una tendencia de regresión inversa. (Statgraphics Technologies, 2013).

### Figura 10

*Contornos de superficie de la respuesta estimada*



Fuente: (Statgraphics Technologies, 2013).

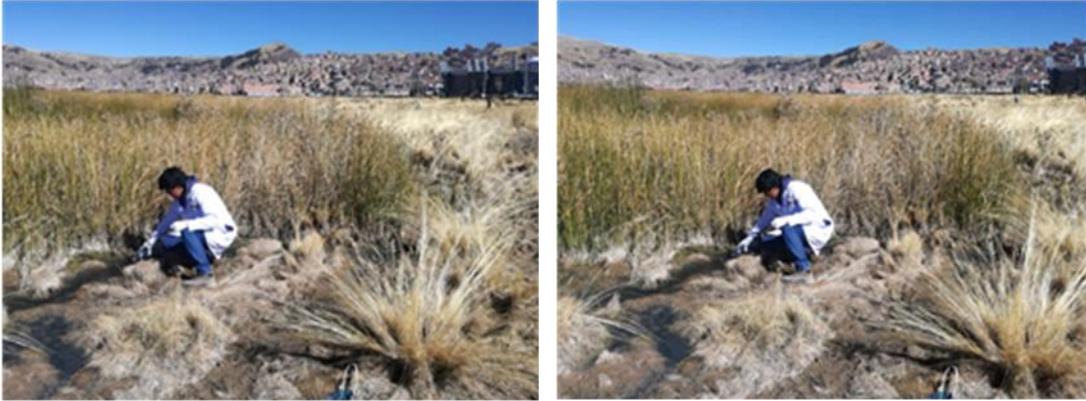
Visualización (Apollines) 10, podemos explicar que el valor de pH óptimo es 5.84 para un tiempo de 120 minutos y una concentración de 120 mg/L, esta ventana muestra el camino creciente (o decreciente) que se encuentra actualmente en el centro; la trayectoria del rango experimental en el que la respuesta estimada cambia rápidamente y los factores experimentales cambian mínimamente (Statgraphics Technologies, 2013).

## ANEXO 5: Panel fotográfico

### TOMA DE MUESTRAS EN LA BAHIA DEL LAGO TITICACA

#### Figura 11

*Toma de muestras de agua frente a la UNA-PUNO*



#### Figura 12

*Toma de muestra de agua frente al terminal de salida de carros provincial*





**Figura 13**

*Toma de muestras de agua en la laguna de oxidación*



**Figura 14**

*Peso de muestra de carbón activado*



**Figura 15**

*Determinando el pH de la solución*



**Figura 16**  
*pH de la solución*



**Figura 17**

*Agitador magnético con la solución*



**Figura 18**  
*Controlando la agitación*



**Figura 19**  
*Proceso de filtración luego del tiempo de agitación*



**Figura 20**

*Proceso de filtración de la solución*



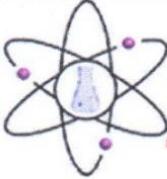
**Figura 21**

*Muestras filtradas para su análisis luego de la agitación a diferentes pH*





## ANEXO 6: Certificados de análisis de laboratorio



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

**RH-M89-1260**

### INFORME DE ENSAYO

---

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE : **Bach. LUYU! ASDRUVAL CONDORI GOMERO**

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

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA : **Muestra agua residual Bahía de la ciudad de Puno**

CANTIDAD DE MUESTRAS : **01**

SOLICITUD DE ENSAYO : **Análisis Químico elemento zinc (Zn)**

MOTIVO : **Ejecución del Proyecto de tesis denominado "isotermas de adsorción y su aplicación en la remoción del ion zinc de las aguas residuales de la ciudad de puno, utilizando carbón activado del eucalipto"**

RECEPCIÓN DE MUESTRAS : **Botella de vidrio, debidamente conservado**

FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO : **04/07/2022 al 06/07/2022**

**DETALLE DEL INFORME**

---

#### RESULTADO DE ENSAYO

| Fecha de Muestreo                                                                |        | 04/07/2022 |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|------------|
| Hora de Muestreo                                                                 |        |            |
| Nombre de Muestra                                                                |        | Muestra 01 |
| Parámetro                                                                        | Unidad | Resultado  |
| ENSAYOS DE METALES – Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica |        |            |
| Zinc (Zn)                                                                        | mg/L   | 0,351      |

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

---

**METODOS DE REFERENCIA**

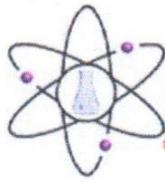
- \* Determinación de zinc (Zn) en muestras de agua – Método Absorción Atómica



**RHLAB S.A.C.**  
GERENTE GENERAL

---

Av. Mártires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)  
Cel 978645481 - 935008040



## INFORME DE ENSAYO

### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **Bach. LUYI ASDRUVAL CONDORI GOMERO**

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA : Muestra agua residual Bahía de la ciudad de Puno

CANTIDAD DE MUESTRAS : 06

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento zinc (Zn)

MOTIVO : Ejecución del Proyecto de tesis denominado "isotermas de adsorción y su aplicación en la remoción del ion zinc de las aguas residuales de la ciudad de Puno, utilizando carbón activado del eucalipto"

RECEPCIÓN DE MUESTRAS : Botella de vidrio, debidamente conservado

FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO : 18/07/2022 al 22/07/2022

### DETALLE DEL INFORME

### RESULTADO DE ENSAYO

| Fecha de Muestreo                                                                | 18/07/2022 |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| Hora de Muestreo                                                                 |            |           |
| Parámetro                                                                        | Unidad     | Zinc (Zn) |
| ENSAYOS DE METALES – Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica |            |           |
| Muestra 01                                                                       | mg/L       | 88,5138   |
| Muestra 02                                                                       | mg/L       | 86,6308   |
| Muestra 03                                                                       | mg/L       | 87,2858   |
| Muestra 04                                                                       | mg/L       | 86,4028   |
| Muestra 05                                                                       | mg/L       | 86,9583   |
| Muestra 06                                                                       | mg/L       | 86,9583   |

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

### MÉTODOS DE REFERENCIA

- \* Determinación de zinc (Zn) en muestras de agua – Método Absorción Atómica

RHLAB S.A.C.  
*[Firma]*  
GERENTE GENERAL



## ANEXO 7: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo LUCY ASDRUAL CONDORI GOMERO,  
identificado con DNI 76174511 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA QUIMICA

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

" ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA  
REMOCIÓN DEL ION ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA  
CIUDAD DE PUNO, UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO DEL EUCALIPTO "

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 24 de abril del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## ANEXO 8: Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

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

Por el presente documento, Yo LUYDI ASDRUVAL CONDORI GOMERO,  
identificado con DNI 76174511 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA QUIMICA

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

" ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA REMOCIÓN DEL ION ZINC DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO, UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO DEL EUCALIPTO "

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de abril del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella