



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“DETERMINACIÓN DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN Y  
REMOCIÓN DE IONES NIQUEL (II) EN CARBÓN ACTIVADO EN  
LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**DETERMINACIÓN DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN Y REMOCIÓN DE IONES NIQUEL (II) EN CARBÓN ACTIVADO EN LA L**

AUTOR

**ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA**

RECuento DE PALABRAS

**16839 Words**

RECuento DE CARACTERES

**90136 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**97 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 18, 2023 12:41 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 18, 2023 12:43 PM GMT-5**

● **16% de similitud general**

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

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 12% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Ing. CIP RENÉ JUSTO QUISPE FLORES  
Registro 116828 - QUÍMICO

Resumen



## DEDICATORIA

A Dios por protegernos y cuidarnos en todo momento, por ser la luz que guía en mi camino, por brindarme fuerza y sabiduría.

A mis padres Teófilo Bellido y Fidela Calsina por ser mis guías de vida, por su apoyo incondicional, su motivación constante a cumplir mis objetivos y ser mi razón de ser.

A mis hermanos Fredy, Henry, Ciro y Eliana por ser mi modelo a seguir y el motivo para lograr mis metas, son quienes me dan el valor para seguir adelante e impulsarme.

A una persona muy especial en mi vida, por brindarme su apoyo incondicional en cada momento y haber puesto su confianza para lograr mis metas

**Estif Michael Bellido Calsina**



## AGRADECIMIENTOS

- Mi agradecimiento a Dios por darme la sabiduría para poder culminar el desarrollo de mi tesis, así como personalmente a las personas que me apoyaron para poder terminar este trabajo de manera satisfactoria.
- Agradecer también a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química por mi formación académica y haberme brindado fortaleza para lograr mis metas y objetivos, y un agradecimiento especial a los miembros del jurado y director de tesis por su asesoramiento en la realización de la presente tesis.

**Estif Michael Bellido Calsina**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**RESUMEN ..... 12**

**ABSTRACT..... 13**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. OBJETIVO GENERAL ..... 15**

1.1.1. Objetivo general ..... 15

1.1.2. Objetivos específicos..... 15

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 16**

**2.2. MARCO TEÓRICO ..... 21**

2.2.1. Metales pesados ..... 21

2.2.2. Métodos empleados para el tratamiento de aguas que contienen metales pesados .....  
..... 23

2.2.3. Biosorción ..... 25

2.2.4. Mecanismos de biosorción ..... 27

2.2.5. Factores que afectan el proceso de biosorción ..... 28

2.2.6. Níquel (Ni II)..... 29

2.2.7. Propiedades físico-químicas..... 31



2.2.8.	Carbón activado .....	32
2.2.9.	Clases de carbón activado .....	34
2.2.10.	Estructura y propiedades del carbón activado.....	35
2.2.11.	Composición química del carbón activo .....	36
2.2.12.	Composición física.....	37
2.2.13.	Características físicas del carbón activado.....	37
2.2.14.	Influencia de la porosidad en la adsorción en fases gas y líquida.....	38
2.2.15.	Influencia de la naturaleza química en la adsorción en fases gas y líquida .....	38
2.2.16.	Aplicaciones del carbón activado.....	39
2.2.17.	La adsorción .....	39
2.2.18.	Factores que influyen en el proceso de adsorción.....	41
2.2.19.	Influencia del pH en el proceso de adsorción .....	42
2.2.20.	Naturaleza del adsorbente .....	42
2.2.21.	Tipos de carbones según la materia prima .....	43

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1.</b>	<b>LUGAR DE EJECUCIÓN .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>45</b>
3.2.1.	Materia Prima.....	45
3.2.2.	Materiales y equipo .....	45
3.2.3.	Reactivos .....	46
3.2.4.	Equipos e instrumentos .....	46
<b>3.3.</b>	<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>47</b>
3.3.1.	Puntos de muestreo .....	47
3.3.2.	Caracterizar la cantidad de Ni <sup>2+</sup> de las aguas de la laguna de estabilización y determinar la aplicación de isothermas de adsorción. ....	48



3.3.3.	Determinar de la isoterma de adsorción de los iones $Ni^{2+}$ según Langmuir .....	48
3.3.5.	Determinar los parámetros óptimos de pH y tiempo de activación para la recuperación de níquel (II).....	50
3.3.6.	Determinar el modelo matemático para el proceso de adsorción de níquel (II) en la laguna de estabilización de la ciudad de puno. ....	52
3.3.7.	Variables de trabajo.....	53
3.3.8.	Rendimiento de recuperación de $Ni^{2+}$ .....	54

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>56</b>
4.1.1.	Caracterizar la cantidad de $Ni^{+2}$ de las aguas de la laguna de estabilización y determinar la aplicación de isothermas de adsorción.....	56
4.1.2.	Parámetros óptimos de ph y tiempo de activación para la recuperación de Níquel (II).....	64
4.1.3.	Modelo matemático para el proceso de adsorción de ni (ii) en la laguna de estabilización de la ciudad de puno .....	65
<b>4.2.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>81</b>

**ÁREA:** Medio Ambiente

**LÍNEA:** Tecnologías Ambiental y Recursos Naturales

**Fecha de sustentación:** 20/07/2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura de los grupos funcionales de oxígeno en la superficie de un carbón .....	37
<b>Figura 2.</b> Procesos de adsorción e intercambio iónico .....	40
<b>Figura 3.</b> Toma de muestras en la laguna de estabilización .....	48
<b>Figura 4.</b> Número de pruebas con agitación magnética.....	52
<b>Figura 5.</b> Isoterma con carbón activado según Langmuir-Ce/q vs Ce.....	57
<b>Figura 6.</b> Isoterma con carbón activado según Langmuir - 1/q vs 1/Ce .....	60
<b>Figura 7.</b> Isoterma según Freundlich .....	62
<b>Figura 8.</b> Pareto estandarizado para Y .....	68
<b>Figura 9.</b> Efectos principales para Y.....	68
<b>Figura 10.</b> Contornos de superficie de la respuesta estimada.....	69
<b>Figura 11.</b> Pareto estandarizado para Y .....	85
<b>Figura 12.</b> Efectos principales para Y.....	86
<b>Figura 13.</b> Contornos de superficie de la respuesta estimada.....	86
<b>Figura 14.</b> Toma de muestras en la laguna de estabilización .....	87
<b>Figura 15.</b> Toma de muestra 2 en la laguna de estabilización.....	87
<b>Figura 16.</b> Pesando el carbón activado .....	88
<b>Figura 17.</b> Preparando y pulverizando el carbón activado .....	88
<b>Figura 18.</b> Preparación de las muestras de agua con carbón activado.....	89
<b>Figura 19.</b> Agitación magnética de cada muestra.....	89
<b>Figura 20.</b> Toma del pH de las diferentes muestras.....	90
<b>Figura 21.</b> pH de una de las muestras de agua.....	90
<b>Figura 22.</b> Filtrando las muestras de agua después del proceso de agitación magnética .....	91



**Figura 23.** Seis muestras filtradas después del proceso de agitación magnética, listas para su análisis químico ..... 91



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de algunos elementos considerados generalmente como metales pesados .....	22
<b>Tabla 2.</b> Características de algunos metales pesados.....	23
<b>Tabla 3.</b> Ventajas y desventajas de la biosorción .....	26
<b>Tabla 4.</b> Algunas biomásas usadas en la remoción de cobalto y níquel .....	27
<b>Tabla 5.</b> Efectos de los factores que afectan el proceso de biosorción .....	29
<b>Tabla 6.</b> Propiedades físico químicas del níquel.....	32
<b>Tabla 7.</b> Características físicas del carbón.....	38
<b>Tabla 8.</b> Tipos de carbón activado según la materia prima.....	44
<b>Tabla 9.</b> Valor límite de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno .....	48
<b>Tabla 10.</b> Datos experimentales de adsorción de Ni con valores de $1/C_e$ y $1/q$ -Isotermas de Langmuir .....	49
<b>Tabla 11.</b> Valores de la isoterma de Freundlich .....	50
<b>Tabla 12.</b> Valores de pH, tiempo y carbón activado.....	51
<b>Tabla 13.</b> Variables de trabajo .....	54
<b>Tabla 14.</b> Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial del $Ni^{2+}$ .....	55
<b>Tabla 15.</b> Matriz de diseño factorial $2^2=4$ para el $Ni^{2+}$ .....	55
<b>Tabla 16.</b> Análisis químico de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno.....	56
<b>Tabla 17.</b> Análisis estadístico de parámetros de la isoterma de Langmuir.....	57
<b>Tabla 18.</b> Análisis Químico de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno.....	58
<b>Tabla 19.</b> Valores de la cantidad de carbón activado y la concentración .....	58



<b>Tabla 20.</b> Resultados de los experimentos de adsorción de Ni <sup>2+</sup> con carbón activado- isoterma de Langmuir.....	59
<b>Tabla 21.</b> Análisis estadístico de los parámetros de la isoterma de Langmuir .....	60
<b>Tabla 22.</b> Análisis estadístico de parámetros de la isoterma de Freundlich .....	63
<b>Tabla 23.</b> Resultados de los parámetros de las isotermas .....	64
<b>Tabla 24.</b> Análisis de varianza para Y .....	65
<b>Tabla 25.</b> Efectos estimados para Y.....	66
<b>Tabla 26.</b> Coeficiente de regresión para Y.....	66
<b>Tabla 27.</b> Camino de máximo ascenso para Y.....	67
<b>Tabla 28.</b> Optimizar Respuesta.....	67
<b>Tabla 29.</b> Análisis de varianza para Y .....	83
<b>Tabla 30.</b> Efectos estimados para Y.....	83
<b>Tabla 31.</b> Coeficiente de regresión para Y.....	84
<b>Tabla 32.</b> Camino de máximo ascenso para Y.....	84
<b>Tabla 33.</b> Optimizar Respuesta.....	85



## RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, la laguna de estabilización de la ciudad de Puno contiene 0,2680 mg/L de Ni (II), el cual afecta al medio ambiente, siendo los objetivos de la presente investigación son caracterizar la cantidad de Ni<sup>2+</sup>, determinar los parámetros óptimos de pH tiempo de activación y determinar el modelo matemático para el proceso de adsorción de Ni<sup>2+</sup> en la laguna de estabilización de la ciudad de Puno, utilizando la metodología de agitación magnética con carbón activado, luego del proceso de adsorción con carbón activado, la concentración promedio de Ni<sup>2+</sup> en las aguas de la laguna de estabilización es de 0,0118 mg/L con 95,5970% de recuperación, para ajustar el pH deseado se utilizaron como corrector soluciones de Ca(OH)<sub>2</sub> 0,5 M y HNO<sub>3</sub> 0,1 M en cada caso, siendo el mejor resultado la prueba 6 con un resultado de pH=5,04 y un tiempo de trabajo de 70 min, El coeficiente de correlación obtenido fue de  $R^2 = 87,0764 \%$  para las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno, se obtuvo el modelo matemático, el proceso de adsorción de níquel con carbón activado y agitación magnética cumplió con los objetivos planteados, Se evaluaron las isoterma de Langmuir y de Freundlich y se observó que la isoterma de Freundlich ajusta mejor los datos experimentales, el proceso cumple con el pseudo segundo orden, cuyo valor de  $R^2$  es 0,9995 que es mayor al valor  $R^2$  de Langmuir, Se concluye que la concentración promedio removido de Ni<sup>2+</sup> es de 0,0118 mg/L con 95,5970 % de recuperación.

**Palabras claves:** Adsorción, agitación magnética, carbón activado, isoterma, níquel.



## ABSTRACT

The research was carried out in the quality laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of the Universidad Nacional del Altiplano Puno, the stabilization pond of the city of Puno contains 0.2680 mg/L of Ni (II), which affects the environment, and the objectives of this research are to characterize the amount of Ni<sup>2+</sup>, determine the optimal pH parameters, activation time and determine the mathematical model for the adsorption process of Ni<sup>2+</sup> in the stabilization pond of the city of Puno, to determine the optimum parameters of pH, activation time and to determine the mathematical model for the adsorption process of Ni<sup>2+</sup> in the stabilization lagoon of the city of Puno, using the methodology of magnetic agitation with activated carbon, after the adsorption process with activated carbon, the average concentration of Ni<sup>2+</sup> in the waters of the stabilization lagoon is 0.0118 mg/L with 95.5970% recovery, To adjust the desired pH, 0.5 M Ca(OH)<sub>2</sub> and 0.1 M HNO<sub>3</sub> solutions were used as corrector in each case, with the best result being test 6 with a result of pH=5.04 and a working time of 70 min. The correlation coefficient obtained was  $R^2 = 87.0764 \%$  for the waters of the stabilization pond of the city of Puno, the mathematical model was obtained, The Langmuir and Freundlich isotherms were evaluated and it was observed that the Freundlich isotherm adjusts better the experimental data, the process complies with the pseudo second order, whose  $R^2$  value is 0.9995 which is higher than the Langmuir  $R^2$  value. It is concluded that the average concentration of Ni<sup>2+</sup> removed is 0.0118 mg/L with 95.5970 % recovery.

**Keywords:** Adsorption, magnetic agitation, activated carbon, isotherms, nickel..



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Puno, tiene para la contención de la contaminación de aguas residuales laguna de estabilización. La laguna fue construida en 1972 “cuando la población de la ciudad de Puno era de 30000 habitantes está ubicada en el extremo sur de la ciudad de Puno, entre los distritos de Isla Espinar y los Barrios de Chanu-Chanu frente al cuartel Manco Cápac. A una altitud de 3810 m.s.n.m., cuando se inauguró en 1972, la laguna trató el 40-45% de las aguas residuales de la ciudad de Puno”, (Emsa Puno S.A 2011).

Ambas lagunas no funcionan actualmente de acuerdo con los planes y objetivos establecidos, lo que ha dado lugar a una baja eficiencia de eliminación con respecto a determinados parámetros dentro del principio de funcionamiento de las lagunas de estabilización, lo que ha provocado problemas como la presencia de metales pesados como plomo, cobre, níquel y zinc, así como malos olores (gases metano y otros), exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y, principalmente, sobresaturación de patógenos (bacterias y virus).

Dado que el “Pb (II), el Zn (II), el Ni (II) y el Hg (II), entre otros), presentes en las aguas residuales, suponen una amenaza para la salud humana, los gobiernos han endurecido su normativa al respecto, lo que ha impulsado una mayor inversión en investigación y desarrollo de métodos más eficaces para la eliminación de estos metales pesados”. (Moreno, 2008).

Este estudio se realizó en el laboratorio de control de calidad del agua de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Michigan, para el proceso se utilizó



el equipo de agitación magnética, teniendo como variables el pH y tiempo de agitación, se utilizó como reactivos el hidróxido de calcio y ácido nítrico para variar la acides de las muestras, de un pH 3,33 a 6,75.

## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar la isoterma de adsorción y remoción de iones níquel (II) en carbón activado en la laguna de estabilización de la ciudad de Puno.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la cantidad de  $\text{Ni}^{2+}$  de las aguas de la laguna de estabilización y determinar la aplicación de isotermas de adsorción.
- Determinar los parámetros óptimos de pH y tiempo de activación para la remoción de níquel (II).
- Determinar el modelo matemático para el proceso de adsorción de níquel (II) en la laguna de estabilización de la ciudad de Puno.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Basso, *et al* (2001), trabajó con el modelo de Langmuir, que es la isoterma de adsorción de metales en su estado iónico, en especial los iones  $Ni^{3+}$ , utilizando carbón activado de la caña, utilizando un incremento del pH, el cual favorece la adsorción de este elemento. A través de su investigación recupera el 90% de iones  $Ni^{3+}$ , con carbón activado de caña preparado con ácido clorhídrico.

También determinó que el carbón activado obtenido muestra una alta eficiencia en soluciones diluidas, siendo su utilidad para aguas residuales con metales pesados, baratas.

Yagnentkovsky, (2011), se realizó utilizando soluciones con pH 4. Los factores de correlación tanto para las soluciones monometálicas como para los lixiviados reales se mantuvieron por encima de 0,9 en casi todas las circunstancias de la prueba. Se comprobó que el alga absorbe y utiliza más cantidad de lixiviado de lo que lo haría de otro modo. Por lo tanto, la cantidad de líquido restante después de separar los sólidos fue la menor de cualquiera de los lixiviados.

En el trabajo de investigación se utilizó algas *pinnatífidas*, el cual se trató con cloruro de calcio porque se “demostró que es un buen biosorbente para recuperar metales pesados y en nuestro caso adsorbió Zn (II), Ni (II) y Cr (III) en soluciones acuosas”.



Para reducir el impacto de la contaminación, *U. pinnatifida* podría utilizarse como material biosorbente de metales pesados. Además, este biosorbente es fácilmente accesible y barato.

Izquierdo, (2010), en este trabajo de investigación se utilizaron *Posidonia oceánica* y la turba para su uso como bioadsorbente de metales pesados en agua, demostrando que se recuperó cobre (Cu) en varios ensayos en discontinuo, el pH determinado fue ente 4-6, cuyos valores variaron desde 38,14 a 73,39 mg/g cuando se utilizó la *Posidonia oceánica* y cuando se utilizó la turba varía entre 22,03 a 43,74 mg/g

El modelo de Langmuir para la adsorción de Cu en *Posidonia oceánica* se aplicó eficazmente para todos los niveles de pH. “El análisis del impacto del contenido de Cu en el afluente de la columna de lecho fijo ha permitido obtener la isoterma de adsorción dinámica desde las capacidades de adsorción máximas hasta la saturación completa de los lechos. Se calcularon capacidades máximas de adsorción de 56,70 mg/g para la *Posidonia oceánica* y de 43,29 mg/g para la turba utilizando el modelo de Langmuir y los datos experimentales”. (Izquierdo 2010),

Sáez, (2020), “ha estudiado la adsorción de dos metales estratégicos: Co (II), como ejemplo de metal divalente y Ga (III)” En su trabajo de investigación se empleó 298 K como temperatura de trabajo, donde el tamaño de la partícula usada fue de 0,9 mm y la dosis para la clinoptilolita fue de 10 g/L-12 g/L y para la chabazita se usó 1 g/L, a través de la agitación magnética y para eliminar el cobalto uso la zeolita en forma sódica y en forma protónica para eliminar galio.

Se obtuvieron capacidades de saturación de 0,3 meq/g para el “Co (II) y de 0,2 meq/g para el Ga (III) a partir de la investigación de la isoterma de la clinoptilolita, mientras que se obtuvieron 1,4 meq/g y 2,5 meq/g a partir de la investigación de la



chabazita. Se descubrió que la capacidad de la chabazita era casi ocho veces superior a la de la clinoptilolita. Esto se debe a que la chabazita tiene una mayor superficie específica (544 m<sup>2</sup>/g frente a 25 m<sup>2</sup>/g) y una menor relación Si/Al (3,2 frente a 5,3)”.

Choque, (2018), “Se recogieron lodos de la parte norte de la instalación de estabilización de aguas residuales y se aplicó una solución acuosa de semillas de tarwi por bioprecipitación para eliminar los metales pesados cadmio (II), plomo (II) y níquel (II). El pH original de la solución acuosa era de 9,3, y al cabo de cinco días había descendido a 5,3; en cuanto a la eliminación de Ni, los 6,8 mg/kg iniciales habían descendido a 6,2 mg/kg, y su porcentaje de eliminación era del 8,82%. La humedad de los lodos era del 81,52%”. Debido a la bioprecipitación orgánica de los alcaloides del tarwi, la cinética de adsorción fue bastante rápida. Por ello, es esencial investigar los procesos de tratamiento de sedimentos abiertos y los valores de pH inferiores a 5,5.

Saavedra, (2019), En su estudio se emplearon microalgas para la biorremediación de la contaminación por partículas en el agua. Comprobaron que se eliminaban diferentes sustancias químicas a distintos niveles de pH, “con Mn y Zn eliminados a pH 5,5 (*Chlorophyceae sp.* y *S. almeriensis*) y Cu eliminado a pH 7,0 (*Chlorophyceae sp.*). Las tasas de eliminación de As y B disminuyeron al aumentar la duración del contacto, pero mejoraron las capacidades de eliminación de Cu, Mn y Zn”.

Choque, (2018), “aplicó una solución acuosa de tarwi a los lodos de la parte norte de la planta de estabilización de aguas residuales y comprobó que tenía una gran capacidad para eliminar iones de Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II)”.

Por el método de precipitación, aplicando un pH que varía de 9,3 a 5,3 durante 5 días de ser aplicado el método de recuperación de cadmio y para la recuperación de Ni el



pH varió de 6,8 a 6,2, siendo los porcentajes de remoción de 83,47% y 75,02%. Respectivamente, lo que indica que la cinética de adsorción fue rápida utilizando el tarwi.

Cabrera, (2018), en su trabajo de investigación utilizó tallos de rosa como adsorbente, sus ensayos fueron con el método batch y como variables de trabajo el tiempo de contacto y concentración, utilizando isothermas de adsorción para determinar la adsorción del plomo, para lo cual utilizo un pH de 4, obteniendo un rendimiento de 0,9854%, lo que significa que la capacidad de adsorción es de 344,82 mg con un tiempo de 60 minutos.

Moreno, et al (2017), En 2016, los investigadores utilizaron una estrategia de muestreo no probabilístico y un método teórico comparando seis estaciones de selección para recopilar datos de la Bahía Interior de Puno. Para su trabajo de investigación determinaron por absorción atómica los elementos metálicos en forma iones como el arsénico, mercurio, plomo, cobre, cadmio y zinc. De igual manera trabajaron su investigación en diferentes estaciones tanto en épocas de lluvia como en estiaje, no encontrando muchas diferencias en las cantidades encontradas de metales pesados al compararlos.

Se encontraron metales en las aguas de la Bahía Interior, y se comprobó que sus concentraciones eran constantes a lo largo del año, lo que les llevó a la conclusión de que esto podría tener efectos negativos en el ecosistema, así como en la salud humana, debido al desarrollo de actividades en beneficio de la comunidad en esta zona.

Martínez, (2008), en su investigación utilizó el método de electrocoagulación, con electrodo de aluminio, como variables de trabajo fueron el pH y la concentración de aluminio. Las aguas contaminadas con caolinita, NET y emulsiones O/W, fueron tratadas con el método de electrocoagulación a bajas cargas eléctricas que fueron variando desde 0,003 a 0,008 A h/dm<sup>3</sup>. Del mismo modo, las investigaciones han demostrado que sólo



se alcanza una eficacia sustancial en la eliminación de contaminantes en el rango de pH ácido durante el tratamiento de aguas contaminadas con caolinita y NET, y que la ruptura de la emulsión sólo se produce entre los valores de pH 5 y 9.

Bustamante, (2011), Utilizamos la isoterma de Langmuir para estimar las capacidades de adsorción de residuos de café (RC) modificados con ácido cítrico 0,6 M para Pb (II) y Cu (II) a pH 4 y 5, respectivamente; estos valores fueron 158,7 y 97,1 mg/g, respectivamente.

Dado que protones y cationes luchan por los mismos sitios de adsorción (grupos carboxílicos), también comprobaron que la capacidad de adsorción de Pb (II) y Cu (II) disminuía al disminuir el pH. Los espectros infrarrojos confirman que la alteración química de los CR provocó un aumento del número de grupos carboxílicos, siendo este grupo funcional el principal responsable del proceso de adsorción.

Soto, et al (2005), “estudiaron la alternativa para remover metales pesados de aguas residuales que genera la industria galvánica de la ciudad de Monterrey” tales como el  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  en cantidades que rebasan las normas, utilizaron un equipo de jarras y como coagulantes el  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ , Esta última alcanzó la mayor eficacia de eliminación de metales y tuvo la velocidad de sedimentación más rápida de las dos. El estudio también descubrió una correlación entre el tamaño del flóculo y el grado de eliminación.



## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Metales pesados

“Se considera metal pesado cualquier elemento químico metálico con una densidad y toxicidad o venenosidad muy elevadas, incluso en concentraciones extremadamente bajas. El mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el arsénico (As), el cromo (Cr), el talio (Tl) y el plomo (Pb) son sólo algunos ejemplos de metales pesados o metaloides”. (Lucho, et al 2005),

Los metales pesados se clasifican en dos grupos:

#### a) **Oligoelementos o micronutrientes**

Aquellos que las plantas y los animales necesitan en cantidades mínimas y que son fácilmente accesibles para estas criaturas. As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Fe, Se y Zn forman parte de esta categoría.

#### b) **Metales pesados sin función biológica**

Que, cuando están presentes en los organismos, tienen un efecto de filtración en el funcionamiento de dichos organismos. Cd, Hg, Pb, Bi, Sn y Tl son algunos ejemplos. La capacidad de un material para dañar a los seres vivos se conoce como toxicidad, y los metales pesados suponen una clara amenaza para la salud humana y medioambiental. Todos los metales mencionados pueden ser ingeridos a través de los pulmones, ya sea como compuestos gaseosos que flotan en el aire o como parte del polvo o de partículas extremadamente finas del suelo que son transportadas incluso por las brisas ligeras. (García y Dorronsoro, 2009).

**Tabla 1.**

*Características de algunos elementos considerados generalmente como metales pesados*

<b>Metal</b>	<b>Características</b>
<b>Arsénico</b>	Los conservantes de la madera, los insecticidas e incluso algunos productos farmacéuticos utilizan este metaloide omnipresente. Se acumula en la cadena alimentaria de los medios acuáticos, e incluso su consumo en bajas cantidades provoca problemas gastrointestinales, alteraciones cutáneas y cambios en el cerebro y el sistema neurológico. Aunque se encuentra en la naturaleza en pequeñas cantidades, se liberan emisiones nocivas al medio ambiente cuando se utiliza en procesos industriales como la fabricación de pinturas, pesticidas, vidrio, baterías eléctricas y “como agente antidetonante en la gasolina. El plomo afecta a los microorganismos porque ralentiza la descomposición de la materia orgánica”. Los glóbulos rojos, el hígado y los riñones se ven afectados negativamente en los animales superiores.
<b>Plomo</b>	En la producción de metales y cerámica, desempeña el papel de catalizador. Reduce la capacidad de los microorganismos para realizar funciones biológicas. Provoca daños pulmonares e inflamación en las personas.
<b>Níquel</b>	Se utiliza como revestimiento en la industria metalúrgica, ya que no es peligroso para el ser humano.
<b>Zinc</b>	“Subproducto de la extracción de otros metales como el cobre, el zinc y el plomo. Se utiliza en galvanoplastia, fabricación de pinturas y plásticos, y en la fabricación de baterías. Su forma tóxica es el ion Cd <sup>2+</sup> ; su acumulación afecta al hígado y los riñones”.
<b>Cadmio</b>	Es un micronutriente clave y se encuentra en abundancia en el mundo natural.
<b>Cobre</b>	Se utiliza en el chapado de metales, la producción de acero y el curtido de pieles.
<b>Cromo</b>	Utilizado en la producción de componentes eléctricos y electrónicos, la industria papelera e incluso la agricultura, figura entre los metales más peligrosos. Cuando se consume, provoca una alteración del sistema neuronal.
<b>Mercurio</b>	No es un metal en absoluto. Tanto el ácido sulfúrico como el proceso de refinado del cobre lo generan. A pesar de su toxicidad, es un micronutriente vital para el ser humano.
<b>Selenio</b>	

Fuente: Martínez (2003).

Las concentraciones de metales pesados en los lodos, que pueden ser perjudiciales tanto para los animales como para las personas, deben mantenerse por debajo de los umbrales reglamentarios. La contaminación por metales en el compost elaborado a partir de RSU en Estados Unidos se analiza a la luz de la normativa vigente de la EPA. Es importante garantizar el uso seguro y eficaz de los recursos orgánicos, como el cumplimiento de las limitaciones establecidas por la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico para la

concentración de metales pesados en el compost elaborado a partir de RSU (residuos sólidos urbanos) en el Decreto 822 de 1998. Las propiedades de muchos metales pesados se enumeran en la Tabla 2, (Martínez, 2003).

**Tabla 2.**

*Características de algunos metales pesados*

Metal	Tierras agrícolas y forestales, sitios públicos, recuperación de suelos*		Límites máximos permitidos en compost**(mg/kg – peso seco)
	Concentración máxima (mg/kg)	Aplicación máxima (kg/ha)	
Arsénico	75	41	54
Cadmio	85	39	18
Cromo	3000	3000	1200
Cobre	4300	1500	1200
Plomo	840	300	300
Mercurio	57	17	300
Molibdeno	75	18	21
Níquel	420	420	180
Selenio	100	100	14
Zinc	7000	2800	1800

Fuente: Norma 503 EPA, Decreto 822/98 Ministerio de Desarrollo.

### 2.2.2. Métodos empleados para el tratamiento de aguas que contienen metales pesados

Existen varios métodos diferentes para tratar los efluentes industriales, todos ellos con el objetivo de mejorar la calidad del agua. Los procedimientos fisicoquímicos han sido la opción más popular para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales industriales, a pesar de su tendencia a generar flujos de residuos adicionales más difíciles de gestionar. Otra razón por la que se están examinando los procedimientos biotecnológicos como opción es lo caro que resulta tratar el agua con estas cualidades para la mayoría de las empresas.



### **2.2.2.1. Métodos fisicoquímicos**

Para respetar los niveles máximos admisibles definidos por la legislación para los metales, se suele recurrir a una mezcla de procedimientos químicos (adición de productos químicos) y físicos que tratan de adaptarse a las características del efluente.

#### **- La precipitación química**

Uno de los procesos más frecuentes para deshacerse de los metales se denomina precipitación química, y consiste en añadir a las aguas residuales reactivos químicos solubles cuyos iones reaccionan con los del material que se quiere eliminar, generando un precipitado. (CEPIS/OPS 2004).

#### **- El intercambio iónico y ósmosis inversa**

“La primera consiste en la liberación selectiva de iones de una matriz sólida para su posterior intercambio con especies iónicas de metales; en este caso, los iones son idénticos en carga.” (Caviedes et al, 2015) El segundo método utiliza la presión para empujar el agua sobre una membrana semipermeable construida de acetato o poliamida, separando los contaminantes del efluente. (Herrera, 2015).

### **2.2.2.2. Métodos biotecnológicos**

El uso principal de materiales biológicos (biomasas) “en procesos biotecnológicos ha atraído la atención de la comunidad científica porque ha suscitado nuevas esperanzas en el tratamiento de aguas residuales para

eliminar metales contaminantes, reducir la complejidad del tratamiento y abaratar su coste”.

- **La fitorremediación**

“Las toxinas presentes en el suelo, el aire, el agua o los sedimentos pueden mitigarse mediante la fitorremediación, un conjunto de actividades bioquímicas llevadas a cabo por las plantas”. (Delgadillo, 2011).

- **La bioacumulación, biomineralización y biotransformación**

Los procesos biológicos de las especies resistentes o tolerantes a la presencia de metales pesados sirven de base para estos modelos. Los metales pesados se mantienen en el citoplasma mediante proteínas ricas en sulfhidrilo denominadas metalotioneínas, a través de un proceso biológico conocido como bioacumulación. “Los metales pesados pueden precipitarse en carbonatos e hidróxidos con la ayuda de ciertos microbios, proceso conocido como biomineralización. La biotransformación requiere un cambio en la naturaleza química del metal pesado (oxidación, metilación), que se lleva a cabo mediante ciertas enzimas microbianas.” (Vullo, 2003).

### 2.2.3. Biosorción

La biomasa muerta o inactiva sirve de fase sólida, mientras que el agua sirve de fase líquida y contiene las especies disueltas que se van a adsorber (iones metálicos). La biomasa es atraída por los iones metálicos y se une a ellos por varias vías, y la adsorción se basa en esto. “Cuando las concentraciones de los iones metálicos disueltos y de la biomasa son iguales, el proceso de adsorción se habrá

completado. Las ventajas e inconvenientes de la biosorción se muestran en la Tabla 3”. (Cañizares, 2000).

**Tabla 3.**

*Ventajas y desventajas de la biosorción*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Reducir al mínimo los residuos químicos y biológicos .</li><li>• La regeneración del material biosorbente es posible.</li><li>• Los iones metálicos suelen eliminarse a bajas concentraciones.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rápida saturación de los sitios de unión.</li><li>• El secuestro por adsorción es sensible al pH.</li><li>• Dado que las células no participan en procesos metabólicos, el potencial de mejora de estos procedimientos biológicos es limitado.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• El mecanismo es independiente del crecimiento, por lo que no está sujeto a límites fisiológicos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No existe ninguna forma biológica de reducir la solubilidad de un metal cambiando su estado de valencia.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• No se requieren nutrientes para el proceso.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No es posible la degradación de las especies organometálicas.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Los materiales biosorbentes son baratos.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo costo de operación.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Proceso sencillo.</li></ul>	

Fuente: Dimas (2011)

La biosorción es eficaz en el tratamiento de concentraciones de “metales inferiores a 100 mg/L, y su principal atractivo desde el punto de vista industrial es la sencillez y el bajo coste del material biosorbente, que suele ser un subproducto (pesca, silvicultura, etc.) o biomasas (hongos, levaduras, etc.). En el Cuadro 4 se enumeran algunas biomasas utilizadas para la extracción de cobalto y níquel”. (Cañizares, 2000).

**Tabla 4.***Algunas biomásas usadas en la remoción de cobalto y níquel*

<b>Biomasa</b>	<b>Generalidades</b>	<b>Referencia</b>
Alga_ marinas Sargassum_ filipéndula	Estudio en un reactor discontinuo a pH 3 y 30 °C. Se eliminó el 85% de Ni <sup>2+</sup>	Seolatto et al 2014
Sargassum_ wightii	Experimentos en lotes con concentraciones iniciales de metales 100 mg/L. Presentó una absorción de 20.63 mg de Co (II)/g a pH 4.5 y 18.58 mg de Ni (II)/g a pH 4	Vijayaraghavan et al., 2005
Levaduras_ Saccharomyces cerevisiae	Experimento con 100 mg/L de concentración inicial, pH 8 y 25 °C en un lote. Se absorbió un máximo de 1,2 mg/g de Ni y 0,68 mg/g de Co, respectivamente.	Galedar y Younesi 2013
Agroindustriales Cáscara de ñame (Dioscorea rotundata)	Prueba varias soluciones de pH 6 con concentraciones de 100 mg/L de Ni. La concentración más alta posible fue de 103,3 mg/g.	Tejada et al., 2016
Caña de azúcar	Biosorción de Ni a 25 grados Celsius y un pH de 5 en una investigación por lotes con una capacidad máxima de sorción de 2 mg/g	Alomá et al., 2012
Forestales Pino	For Ni (II) at pH 6.17 and an initial concentration of 11.175mg/L, a 2/3 factorial central complete composite design was used, yielding a 99.91% success rate.	Can et al., 2006
Pesqueros Escamas de tilapia	Estudio por lotes de Ni: equilibrio tras 4 horas a pH 9 y capacidad de absorción de 1,4 mg/g.	Othman y Juki 2011

Fuente: Dimas (2011)

#### 2.2.4. Mecanismos de biosorción

Debido a los grupos funcionales y a las propiedades metálicas del material sorbente, los biosorbentes presentan estructuras complejas que dan lugar a una captura selectiva. Como pueden intervenir muchos sistemas a la vez, a veces resulta difícil encontrar una explicación adecuada.

- **Adsorción**

“Los procesos químicos o físicos, como las reacciones de complejación (creación de complejos en la pared celular) o quelación, se utilizan para unir iones a la superficie de un sólido (biomasa)”. (Lezcano, 2008).



- **Intercambio iónico**

un proceso químico irreversible en el que dos iones de idéntica carga (uno procedente de la solución y otro de la superficie) intercambian sus lugares. (Lezcano, 2008), “Con lo que se ha establecido que los iones metálicos divalentes se intercambian con iones como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  que comúnmente componen las paredes celulares de la biomasa” (Martín, 2008).

- **Microprecipitación**

Cuando un biosorbente alcanza su límite de solubilidad, la solución comienza a acumularse en el interior del material como resultado de los cambios en el pH y otros factores locales. La biomasa se recubrirá de precipitados micrometálicos. (Lezcano, 2008).

### **2.2.5. Factores que afectan el proceso de biosorción**

La selectividad de un material hacia un determinado ion metálico puede verse afectada por las características químicas de los iones, como su radio, carga eléctrica y potencial iónico. Es difícil comprender y simular los procesos en juego debido a la superficie desigual y diversa de la mayoría de los biosorbentes. El proceso de biosorción se ve afectado por las variables enumeradas en la Tabla 5. (Sánchez, 2016).

**Tabla 5.**

*Efectos de los factores que afectan el proceso de biosorción*

<b>FACTOR</b>	<b>EFEECTO EN LA ADSORCIÓN</b>
Temperatura	El biosorbente podría cambiar si se expone a altas temperaturas. (Tejada et al, 2015).
pH	La adsorción se ve afectada por el pH de la solución; un pH superior a 5 es más favorable para la adsorción de cationes, mientras que un pH entre 1 y 5 es óptimo para la adsorción de aniones. (Tejada et al, 2015).
Tamaño de partícula	El aumento de la eliminación de adsorbato se correlaciona con el aumento de la capacidad de retención y la disminución del tamaño de las partículas, factores ambos que repercuten en la velocidad de reacción del biosorbente. (Tejada et al, 2015).
Presencia de otros iones	La solución biosorbente contiene otros metales que compiten con el metal a retener. (Tejada et al, 2015).
pH en el punto de carga cero	Representa las características ácido-base del biosorbente. La capacidad del biosorbente para adsorber cationes aumenta cuando el pH disminuye porque se crea una carga negativa en la superficie del biosorbente. (Boada, 2015).
Tiempo de contacto	Tiempo de contacto entre el biosorbente y el sorbato, que cesa cuando la eliminación de metal deja de aumentar.. (Martín, 2008).
Concentración de la biomasa	La capacidad de sorción disminuye a medida que aumenta la concentración de biomasa. Las interacciones electrostáticas de las células reducirán el número de centros activos en la membrana celular. Muñoz, (2016).

Fuente: Sánchez (2016).

### **2.2.6. Níquel (Ni II)**

“Símbolo Ni<sup>2+</sup>, número atómico 28, es un metal duro, blanco plateado, dúctil y maleable, la masa atómica del níquel presente en la naturaleza es 58,71.

El níquel tiene cinco isótopos naturales con masas atómicas de 58, 60, 61, 62, 64.

También se han identificado siete isótopos radiactivos, con números de masa de 56, 57, 59, 63, 65, 66 y 67”, (Rochow,1981).

El porcentaje de níquel en la corteza terrestre es aproximadamente del 0,008%, mientras que en las rocas ígneas constituye alrededor del 0,01%. Se



supone que el níquel está presente en altas concentraciones en el centro de la Tierra, y algunos tipos de meteoritos contienen cantidades considerables del metal. Los sulfuros de níquel-hierro como la pentlandita y la pirrotita  $(\text{Ni, Fe})_x\text{S}_y$  la garnierita  $(\text{NiMg})\text{SiO}_3$  son dos minerales esenciales. El níquel puede encontrarse en concentraciones traza tanto en la flora como en la fauna. El agua de mar, el petróleo e incluso la mayor parte del carbón contienen trazas de níquel.

El níquel metálico es robusto y resistente (tiene una dureza Mohs de 3,8). Es de un tono negro oscuro cuando se muele muy poco. El níquel resiste la corrosión alcalina y no arde en grandes porciones, pero pueden incendiarse hilos extremadamente pequeños; su densidad a 20 grados Celsius (68 grados Fahrenheit) es 8,90 veces la del agua, y funde a 1455 grados Celsius (2651 grados Fahrenheit) y hierve a 2840 grados Celsius (5144 grados Fahrenheit). Se disuelve lentamente en ácidos diluidos, produciendo hidrógeno, por lo que es un elemento superior al hidrógeno en la serie electroquímica. En estado metálico, actúa como un potente reductor. (Rochow,1981).

Dado que muchas de sus sales son solubles en agua, este elemento químico tiene una gran movilidad en las soluciones. En la corteza terrestre pueden encontrarse unos 80 miligramos por gramo de níquel. La cantidad encontrada en las distintas formaciones rocosas varía enormemente.

Los dos estados de oxidación más comunes del níquel son los estados de oxidación 0 y 2, aunque también se dan los estados de oxidación 1, 3 y 4. En soluciones acuosas, cuando predomina el Ni (II), los iones posteriores son inestables. En soluciones acuosas, cuando predomina el Ni (II), los iones posteriores son inestables.



### **2.2.6.1. Efectos del Níquel sobre la salud**

El níquel es un elemento raro que sólo existe en cantidades muy pequeñas en la naturaleza. El ser humano utiliza el níquel de muy diversas formas. El níquel se utiliza sobre todo como aditivo en el acero y otros metales. Está presente en objetos metálicos cotidianos como las joyas. (Rochow,1981).

El níquel puede encontrarse en los alimentos en niveles traza. El chocolate y otros alimentos ricos en grasas pueden contener niveles elevados. Cuando las personas consumen muchas verduras cultivadas en suelos contaminados, su organismo absorbe más níquel. Se sabe que las plantas almacenan níquel, por lo que el consumo de verduras es una fuente probable de este metal para los seres humanos. Los fumadores inhalan níquel en grandes cantidades. El níquel se encuentra en el medio ambiente y puede ser inhalado, ingerido o exhalado por los seres humanos a través del aire, el agua, los alimentos o el tabaco. El níquel también puede absorberse a través de la piel si una persona entra en contacto con tierra o agua contaminadas. El níquel es un elemento vital, pero una exposición excesiva puede ser perjudicial para la salud humana. (Rochow,1981).

### **2.2.7. Propiedades físico-químicas**

El níquel es un metal duro, blanco plateado, dúctil y maleable; sus principales características, en la Tabla 6 se muestra propiedades fisicoquímicas del níquel.

**Tabla 6.***Propiedades físico químicas del níquel*

Nombre	Níquel
Número_atómico	28
Valencia	2,3
Estado de oxidación	2
Electronegatividad	1,8
Radio covalente (Å)	1,21
Radio iónico (Å)	0,78
Radio atómico (Å)	1,24
Configuración electrónica	[Ar]3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>
Primer potencial de ionización (eV)	7,68
Masa atómica (g/mol)	58,71
Densidad (g/ml)	8,9
Punto de ebullición (°C)	27,30
Punto de fusión (°C)	1453
Descubridor	Alex Constedt 1751

Fuente: Rochow (1981).

### 2.2.8. Carbón activado

El carbón activado es una forma manufacturada de carbono. El objetivo es disponer de un gran número de moléculas extremadamente diferentes que puedan ser adsorbidas (retenidas en su superficie) tanto en fase líquida como gaseosa. (Afenya, 1991),

El carbón activado (CA) es un ingrediente industrial muy popular debido a su gran capacidad de adsorción. Gracias a su gran superficie interior, sus diversos grupos funcionales y sus poros bien distribuidos, este material puede atrapar una amplia gama de moléculas. (Padrón *et al*, 2013).



“Entre los usos industriales de los carbones activados figuran la separación y purificación de líquidos y gases, así como la eliminación de sustancias químicas peligrosas. Los carbones activados son materiales porosos con una elevada superficie interna”. (Henning y Schafer, 1993).

Los múltiples usos del carbón activado pueden resumirse en sus características principales, que son las siguientes:

- **Elevada capacidad y baja selectividad de retención.**

Su enorme superficie interna es un factor clave en su capacidad para eliminar contaminantes, al igual que la porosidad y la distribución del tamaño de los poros. “Las moléculas grandes, como los colorantes o los coloides, deben ser retenidas, y el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido deben verse facilitados por mezoporos (tamaño entre 2 y 50 nm) y macroporos (tamaño >50 nm)”.

La naturaleza apolar del carbono y la naturaleza de las fuerzas que intervienen en el proceso de adsorción hacen que retenga moléculas apolares y de alto volumen molecular (hidrocarburos, fenoles, colorantes, etc.) con mayor eficacia que las sustancias polares como el nitrógeno, el oxígeno y el agua a temperatura ambiente. La capacidad del carbón activado para absorber moléculas no depende principalmente de su superficie y porosidad. Los compuestos polares, en particular, sólo son retenidos marginalmente por la superficie no polar del carbón.

“Cuando el material a eliminar es muy polar, tiene un volumen molecular pequeño y está muy diluido en el aire, es necesario saturar el carbono con reactivos



especializados o aprovechar las capacidades catalíticas del carbono para lograr una retención eficaz a temperatura ambiente”. (Mohanty *et al*, 2005).

## **2.2.9. Clases de carbón activado**

### **2.2.9.1. Activado Granular**

El carbón activado es una forma amorfa de carbono que se crea eliminando todo el oxígeno del proceso de combustión de la madera u otro material orgánico. Su estructura microporosa le permite absorber moléculas orgánicas en estado gaseoso y líquido.

Se emplea en operaciones de tratamiento de aguas para eliminar compuestos orgánicos disueltos responsables de sabores y colores desagradables.

El carbón activado granular se presenta en dos variedades: lignito (fabricado a partir de materiales bituminosos) y coco (derivado de la madera del árbol). (Mohanty *et al*, 2005).

### **2.2.9.2. Carbón activado pulverizado**

Los gránulos de carbón activado pulverizado deben tener un tamaño de malla ASTM de entre 140 y 200; si fueran más pequeños, podrían atascar el proceso, y si fueran más grandes, serían demasiado blandos y tendrían demasiados agujeros. Dado que los buenos carbones en polvo carecen de una estructura definida, son especialmente eficaces en la fase líquida como decolorantes.



El carbón activado puede fabricarse a partir de diversos recursos.

(Mohanty *et al*, 2005).

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

Muchos productos emplean carbón activado para deshacerse de tonalidades, olores y sabores no deseados. Se utiliza en una gran variedad de entornos, desde electrodomésticos como peceras y filtros de frigoríficos hasta complejos montajes industriales como instalaciones de tratamiento de aguas residuales y la producción de antibióticos. (Barreto, 2013).

La utilidad del carbón activado radica en la combinación de dos cualidades principales:

- Elevada capacidad
- Baja selectividad de retención.

Debido a su naturaleza apolar y a la naturaleza de las fuerzas que intervienen durante la adsorción, se considera un adsorbente universal; retiene preferentemente moléculas apolares y tiene un gran volumen molecular. Debido a su gran superficie interior, es bastante eficaz a la hora de expulsar sustancias químicas no deseadas. “Por regla general, se necesitan mesoporos y macroporos para retener moléculas grandes, como colorantes o coloides, y favorecer el acceso y la difusión rápida de las moléculas a la superficie interior del sólido”. (Rodríguez y Molina, 2012).

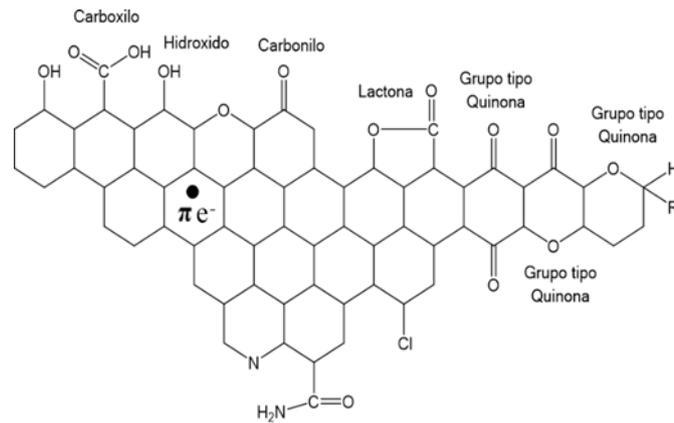
No sólo la superficie y la porosidad del carbón activado contribuyen a su capacidad de adsorción. Por ejemplo, el carbón apolar tiene poca capacidad para retener moléculas polares en su superficie. “En estas circunstancias, el carbón



podría adoptar un carácter ácido-base por fijación de 'heteroátomos, principalmente oxígeno e hidrógeno, produciendo estructuras o grupos funcionales como ácido carboxílico, lactosas, carbonilo, etc". (Rodríguez y Molina, 2012).

### **2.2.11. Composición química del carbón activo**

A partir del mismo concepto básico de carbón activado se desarrollan diferentes materiales, con notables variaciones en el tamaño de las partículas y la estructura interna (poros y superficie específica). "Aproximadamente un 70-80% de C, entre un 5 y un 10% de cenizas, un 60% de oxígeno y un 0,5% de hidrógeno componen la composición química del carbón activado". (Perdomo, 2014), La adsorción es un proceso fisicoquímico en el que moléculas específicas de un medio líquido o gaseoso son retenidas en la superficie de un adsorbente sólido por acción capilar. El proceso de activación influye en las características del adsorbente, especialmente en el caso de moléculas de un tipo polar específico, debido a la formación de grupos funcionales durante la interacción entre radicales libres en la superficie del carbono, lo que hace que la superficie del carbono sea químicamente reactiva. El carbono adquiere propiedades anfóteras -tanto ácidas como básicas- debido a la creación de grupos carboxilo (RCOOH), carbonilo (RCHO), hidroxilo (OH), etc., como se observa en la Figura 1. (Luna *et al*, 2007).



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

**Fuente:** Rodríguez (2007).

### 2.2.12. Composición física

“La estructura microcristalina del carbón activado es bastante similar a la del grafito. Es posible clasificar los poros del carbón activado en tres grupos distintos en función de su radio: macroporos ( $r > 25$  nm), mesoporos ( $25$  nm  $r > 1$  nm) y microporos ( $r < 1$  nm)”. (Perdomo, 2014).

### 2.2.13. Características físicas del carbón activado

El carbón vegetal utilizado en el experimento se creó mediante un método de extrusión cilíndrica y se obtuvo a partir de cáscaras de coco. Las características fisicoquímicas del carbón activado se enumeran en la Tabla 7.

**Tabla 7.**

*Características físicas del carbón*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Largo del cilindro (*)	5,6 mm
Diámetro del cilindro (*)	3 mm
Volumen de poros	0,43-0,47 (cm <sup>3</sup> /grs.)
Superficie específica total	900-950 (m <sup>2</sup> /grs.)
Densidad real	1.104 (grs./cm <sup>3</sup> )
Mesoporos	3,5%
Microporos	95-97%

Fuente: De Montreuil "Mineralogía de Oro y su relación con el Tratamiento Metalúrgico" (1984).

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

Cuantificar la superficie del carbón activado es una técnica sencilla para elegirlo para su uso en procedimientos de eliminación de gases apolares (hidrocarburos) o compuestos disueltos (fenoles). Aumentar la cantidad o el grado de activación (medido por la proporción de carbono liberado durante el proceso o el porcentaje de combustión) aumenta la superficie y, por tanto, la capacidad de retención de contaminantes. (Rodríguez y Molina, 2012).

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

Las cualidades adsorbentes del carbón activado no están totalmente ligadas a su porosidad. "La capacidad de retener moléculas polares en la fase gaseosa es escasa, ya que la superficie del carbón es apolar; para potenciar esta capacidad, deben introducirse grupos superficiales que favorezcan interacciones particulares con el material que se desea mantener". (Rodríguez y Molina, 2012).



### 2.2.16. Aplicaciones del carbón activado

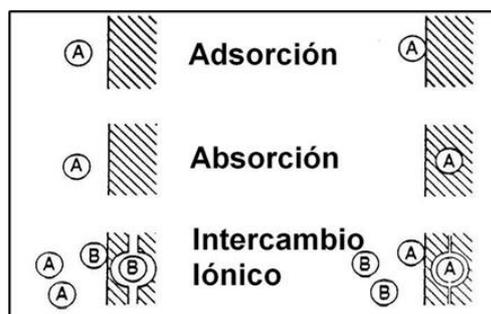
- Tratamiento de aguas residuales y fecales a nivel terciario
- Las operaciones industriales que requieren aguas tratadas incluyen las de los sectores químico, alimentario y farmacéutico.
- Tratamiento del agua
- Métodos para tratar los contaminantes atmosféricos
- Limpieza del aire y los gases.

El tratamiento terciario, como el uso de carbón activado, tiene como objetivo mejorar la calidad del efluente más allá de la alcanzada por el tratamiento primario y secundario. Los gránulos del material adsorbente (carbón activado) se colocan en lechos empaquetados del tipo columna, y el fluido se empuja a través del filtro empaquetado. La superficie porosa de los gránulos adsorbe los compuestos a medida que el agua se desplaza por la columna. Se considera que el carbón activo está "gastado" cuando toda su superficie accesible ha sido utilizada por los productos químicos. El filtro no puede reutilizarse hasta que el carbón usado se sustituya o se limpie. Cuando hay que limpiar el carbón usado, se calienta y se bombea aire limpio a través de él. El calor libera las sustancias químicas del carbón y el aire las arrastra fuera de la columna. (Bensal y Goyal, 2005).

### 2.2.17. La adsorción

La adsorción es un método habitual para eliminar sustancias químicas no deseadas de fases fluidas (gases o líquidos), ya que se trata de un proceso de transferencia de fases. También se produce de forma natural en muchos compartimentos del medio ambiente. La adsorción, en su sentido más amplio, es la acumulación de especies químicas de una fase fluida en la superficie de un

líquido o un sólido. La adsorción ha demostrado ser un método eficaz para eliminar una amplia variedad de solutos en la industria del tratamiento del agua. La adsorción en superficies sólidas se utiliza para eliminar moléculas o iones de una solución acuosa. Debido a sus características eléctricas y espaciales únicas, las superficies sólidas tienen sitios activos ricos en energía que pueden interactuar con solutos en la fase acuosa circundante. Normalmente, los estados energéticos de los sitios activos son diferentes o la superficie es energéticamente heterogénea. Por adsorbente se entiende la sustancia sólida que sirve de superficie de adsorción. Los adsorbatos son las especies objetivo de un proceso de adsorción. Las especies adsorbidas pueden liberarse de la superficie y volver a la fase líquida alterando los parámetros de la fase líquida (como la concentración, la temperatura y el pH). Desorción es el término técnico para esta acción a la inversa. Dado que la adsorción se produce en la superficie del material, los adsorbentes diseñados tienden a ser sustancias muy porosas con áreas superficiales de entre  $10^2$  y  $10^3$  m<sup>2</sup>/g. La figura 2 ilustra los procesos de adsorción e intercambio iónico que tienen lugar en sus superficies porosas, que permiten realizar superficies tan enormes. (Martínez, 1990).



**Figura 2.** Procesos de adsorción e intercambio iónico

**Fuente:** Agorube, 2008



La capacidad de adsorción es una propiedad establecida empíricamente de limos, suelos, rocas y otros materiales. Las arcillas pueden imponer tensiones intermitentes o continuas. El grado de tensiones permanentes causadas por sustituciones isomórficas en la capa tetraédrica u octaédrica de un mineral depende de la estructura del material y no se ve afectado por el medio circundante. (Sepúlveda et al, 2008).

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

Aunque los procesos en sí puedan parecer sencillos, el soluto o el adsorbente pueden sufrir cambios químicos como resultado del pH de la solución y de la adsorción de la molécula no disociada o del ion disociado. Estos factores determinan la carga superficial, la hidrofobicidad y la densidad electrónica de un material. “Dependiendo del pH y de las propiedades superficiales del carbón, se produce una carga superficial cuando el carbón activado se sumerge en una solución acuosa”.

Las cualidades de los componentes extraíbles, las características del adsorbente y las circunstancias de contacto entre las fases líquida y sólida desempeñan un papel en el proceso de adsorción. “La afinidad del adsorbato por el sólido adsorbente viene determinada tanto por las propiedades del adsorbato (como el peso molecular, la concentración, los grupos funcionales y la solubilidad en el líquido) como por las propiedades del sólido adsorbente (como la distribución del tamaño de los poros y los grupos químicos superficiales, entre otros)”. (Colina, 2012).



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

Los procesos de adsorción se ven afectados por el pH y la fuerza iónica de la solución. Los procesos de adsorción de orgánicos, débiles y polielectrolitos están regulados por el pH porque afecta a la fuerza de los contactos electrostáticos entre el adsorbente y el adsorbato.

El pKa de un electrolito determina si se disociará o no en una solución dada o si se ionizará. A un valor de pH superior a su constante de disociación, los electrolitos ácidos se vuelven insolubles. Por lo tanto, las interacciones electrostáticas entre el adsorbato y el adsorbente están fuertemente influenciadas por el pH de la solución. “La investigación sobre la adsorción de Cu, Pb y Ni en carbón activado en el rango de 2 a 9 mostró que el Cu se adsorbe a pH 2,5 a 5,0, precipitando a pH 6,0; el Pb se adsorbe a pH 3 a 4, precipitando a pH 7 a 8; y el Ni<sup>2+</sup> se adsorbe en un amplio rango de pH de 4 a 9, empezando a precipitar a pH 7”. (Alami, 2010).

### **2.2.20. Naturaleza del adsorbente**

“Para eliminar los contaminantes orgánicos (como compuestos fenólicos, hidrocarburos aromáticos, derivados clorados, productos químicos pigmentados y otros que aportan olor y sabor al agua), la adsorción es una de las técnicas más empleadas en el sistema de tratamiento de aguas residuales”. (Alami, 2010).

Cuando se trata de limpiar las aguas residuales de las fábricas de pesticidas, el carbón activado es un adsorbente muy popular.

La capacidad de un adsorbente para tratar el adsorbato viene determinada por una serie de factores, como la superficie específica y la porosidad del sólido,



el tamaño de las partículas, la estructura de los poros y la dispersión de los poros. “La fase de adsorción suele ser bastante rápida y los factores determinantes son el tamaño de las partículas y la anchura de los poros del adsorbente. El carbón activado prefiere moléculas covalentes, que suelen ser no iónicas y no polares, ya que él mismo es una sustancia química covalente”. (Alami, 2010).

### **2.2.21. Tipos de carbones según la materia prima**

Es importante que el precursor sea fácil de obtener, barato e incluya pocos minerales para que el carbón final tenga las cualidades mecánicas y la capacidad de adsorción deseables. La madera y los restos forestales u otra biomasa, la turba, el lignito y otros carbones minerales, así como diversos polímeros y fibras naturales o sintéticas, son fuentes potenciales de carbones activados generados industrialmente. (Barreto, 2013). “en la Tabla 8 se muestra tipos de carbón activado según la materia prima”. (Marlon, 2009).

**Tabla 8.***Tipos de carbón activado según la materia prima*

<b>Propiedades</b>	<b>Coco</b>	<b>Carbón bituminoso</b>	<b>Lignita</b>	<b>Madera</b>
<b>Microporo</b>	Alto	Alto	Mediano	Bajo
<b>Microporos</b>	Bajos	Mediano	Altos	Altos
<b>Dureza</b>	Alta	Alta	Baja	Mediana
<b>Cenizas</b>	5%	10%	20%	5%
<b>Cenizas solubles en agua</b>	Alta	Bajas	Alta	Mediana
<b>Densidad Aparente</b>	0,48 g/mL	0,48 g/mL	0,30 g/mL	0,35 g/mL
<b>Regeneración</b>	Buena	Buena	Pobre	Regular

Fuente: Marlon (2009).

Los carbones activados, desde un punto de vista estructural, son carbones muy desordenados e isotropos. “Dado que las estructuras ordenadas suelen producirse en los carbones resultantes durante la resolidificación de la fase fluida o pseudofluida de carbonización, los materiales carbonosos que se someten a esta fase no son apropiados para la fabricación de carbones activados”. (Barreto, 2013).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

Localización del proyecto, “El área de estudio está ubicada en la laguna de estabilización secundaria de aguas servidas de la ciudad de Puno, Situado en la Provincia de Puno, del Departamento de Puno, distrito de Puno, Su latitud  $15^{\circ}50'00''$ S y longitud  $70^{\circ}02'00''$ W”.

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

Ubicación:

Provincia : Puno

Departamento : Puno

Dirección : Av. Sesquicentenario N° 1150

Los análisis se realizaron en el laboratorio RH LAB S.A.C de la ciudad de Juliaca

#### 3.2. MATERIALES

##### 3.2.1. Materia Prima

Aguas contaminadas con níquel de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno.

##### 3.2.2. Materiales y equipo

- Pipeta.



- Bureta de 200 mL.
- Mortero de Ágata.
- Pipetas de 50, 20 y 5 mL.
- Probetas de 100 y 50 mL.
- Matraces Erlenmeyer de 250 mL.
- Tubos de ensayo.
- Embudo de vidrio.
- Vasos de precipitados de 500 mL.
- Tubos de ensayo.
- Papel filtro Whatman N° 42.

### **3.2.3. Reactivos**

- Carbón activado comercial (adsorbente).
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (0,5M).
- $\text{HNO}_3$  (0,1M).
- $\text{H}_2\text{O}$  destilada.

### **3.2.4. Equipos e instrumentos**

- Agitador magnético STIRRER TYPE OP-9/2/3
- Centrifugador marca Generic. ENICMA & Co
- pHmetro digital de calibración marca HANNA INSTRUMENTS, HI 9321
- Espectrofotómetro de absorción atómica de marca ANALYST T – 100

### 3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 3.3.1. Puntos de muestreo

Las diferentes muestras se efectuaron en la laguna de estabilización de la ciudad de Puno de acuerdo a lo siguiente.

Se recogieron seis muestras de 200 cm<sup>3</sup> cada una en distintos momentos y se enviaron al laboratorio en recipientes de polietileno frío para su análisis químico.

La toma de las muestras en la laguna de estabilización de la ciudad de Puno se ha hecho muy difícil por la prohibición de ingreso a particulares y también por las físicas de la laguna, con acceso restringido y casi imposible de acercarse a la rivera, por lo cual solo se ha podido acceder a dos lugares donde se tomaron un total de seis muestras en dos puntos, cuyas coordenadas fueron 15°50'33.6" 69°59' 43.8" y 15°50'01.7" 69°59' 43.9".



15°50'01.7" 69°59' 43.9"  
15°50'33.6" 69°59' 43.8"

**Figura 3.** Toma de muestras en la laguna de estabilización

**3.3.2. Caracterizar la cantidad de Ni<sup>2+</sup> de las aguas de la laguna de estabilización y determinar la aplicación de isothermas de adsorción.**

En la Tabla 9 se observa las propiedades físicas y químicas de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno, se caracterizaron a través del análisis químico, “se determinó las cantidades de Ni de acuerdo a la Ley General de Aguas D.L. N° 17752 y sus modificaciones al reglamento según el Decreto Supremo 004-2017-MINAM”. (anexo A), supera los límites máximos permisibles de acuerdo a los análisis químico efectuados, Las coordenadas donde se tomaron las muestras fueron: 15°50’33.6” 69°59’ 43.8” y 15°50’01.7” 69°59’ 43.9”.

**Tabla 9.**

*Valor límite de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno*

<b>Metal</b>	<b>Valor límite de agua de descarga en lagunas y lagos.</b>
Ni <sup>2+</sup>	Max. 0,052 mg/L

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

**3.3.3. Determinar de la isoterma de adsorción de los iones Ni<sup>2+</sup> según**

**Langmuir**

**Ecuación de Langmuir** 
$$\frac{C_e}{x} = \frac{1}{KV_m} + \frac{C_e}{V_m}$$
 Ec. 1

**Forma lineal** 
$$\frac{C}{q} = \frac{1}{bC} + \frac{1}{kb}$$
 Ec. 2

$$q = \frac{X}{m}$$
 Ec. 3

$$X = C_o - C_e$$
 Ec. 4



**Donde:**

Co=Concentración de referencia

Ce= Concentración en el fluido

x/m= Carga

m= Masa del adsorbente

x=Masa del adsorbato

q= Cantidad adsorbida

La Tabla 10 muestra los resultados experimentales de adsorción de Ni<sup>2+</sup> para la isoterma de Langmuir.

**Tabla 10.**

*Datos experimentales de adsorción de Ni<sup>2+</sup> con valores de 1/Ce y 1/q -Isotermas de Langmuir*

Concentración en el equilibrio (mg/L)		1/Ce	1/q
Ce	q=X/m		
0,0268	0	3,7313	0
0,0260	4,84	3,8462	0,21
0,0194	4,14	5,1546	0,24
0,0176	3,58	5,6818	0,28
0,0172	3,14	5,8140	0,32
0,0147	2,81	6,8027	0,36
0,0118	2,56	8,4746	0,39

**3.3.4. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones Ni<sup>2+</sup> según**

**Freundlich**

Ecuación lineal de Freundlich:



$$\text{Log } q = \frac{1}{n} \text{Log } C + \text{Log } K_d \quad \text{Ec.5}$$

La Tabla 11 muestra los valores hallados de la isoterma de Freundlich.

**Tabla 11.**

*Valores de la isoterma de Freundlich*

<b>q=x/m</b>	<b>C</b>	<b>Eje X Log C</b>	<b>Eje Y Log q</b>
0	0	-0,5719	0
0,16	0,05	-0,5850	-0,7959
1,23	0,06	-0,7122	0,0911
1,31	0,07	-0,7545	0,1187
1,2	0,08	-0,7645	0,0792
1,34	0,09	-0,8327	0,1285
0,15	0,1	-0,9281	0,1761

### **3.3.5. Determinar los parámetros óptimos de pH y tiempo de activación para la recuperación de níquel (II)**

#### **3.3.5.1. Agitación magnética**

Utilizamos la tecnología de agitación magnética para encontrar el punto óptimo para el pH y el tiempo de recuperación en el procesamiento del níquel siguiendo los siguientes pasos:

- Se prepararon 6 muestras de agua residual de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno que contiene níquel, en vasos de precipitación con un volumen de 200 mL de la muestra a tratar.
- Se tomaron los pHs de cada muestra al inicio de la parte experimental, ajustándose el pH con HNO<sub>3</sub>, para provocar un desplazamiento del equilibrio químico que no favorezca la solubilidad.
- El pH para la precipitación del níquel fue de 3,33 a 6,75.



- Para la evaluación de la concentración de níquel se determinó colocando 200 mL de la muestra en cada vaso de precipitados y poniendo en contacto 0,05 a 0,1 mg de carbón activado con agitación constante a 500 rpm y un rango de pH de 3,33 a 6,75, como se muestra en la figura; después de 20 minutos, la solución se filtró a través de papel filtro Waltman No. 40. Se utilizó la absorción atómica para calcular las concentraciones finales de níquel en el agua de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno.
- El efecto del “pH sobre la remoción de níquel se realizó variando el valor del pH de la solución inicial en el rango 3,33 a 6,75 para ajustar el pH deseado, se utilizaron soluciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0.5 M y  $\text{HNO}_3$  0,1 M según fuera conveniente”.
- Se añadió carbón activado a cada vaso de precipitados y la solución resultante se agitó a una velocidad constante de 500 rpm. La duración de cada experimento se registró en minutos, y se obtuvieron muestras a los 20, 40, 60, 80, 100 y 120 minutos.

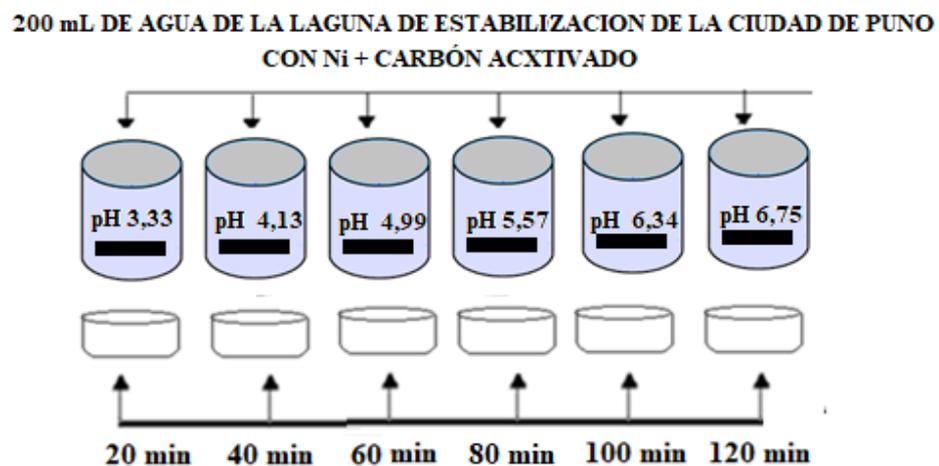
**Tabla 12.**

*Valores de pH, tiempo y carbón activado*

Nº de Pruebas	Carbón activado	pH	Tiempo (min)
1	0,05	3,33	20
2	0,06	4,13	40
3	0,07	4,99	60
4	0,08	5,59	80
5	0,09	6,34	100
6	0,10	6,75	120

Las variables más importantes en el proceso de remoción de  $\text{Ni}^{+2}$ , son el pH y el tiempo de agitación que cumple un papel muy importante en el proceso de remoción a través de la adsorción, pues afecta el equilibrio de hidrólisis por la adición de carbón metálico.

La figura 4 muestra que el proceso de adsorción es especialmente sensible a los cambios de pH y a la duración de la agitación. La adición de cationes metálicos altera los equilibrios de hidrólisis, por lo que su impacto es importante.



**Figura 4.** Número de pruebas con agitación magnética

### **3.3.6. Determinar el modelo matemático para el proceso de adsorción de níquel (II) en la laguna de estabilización de la ciudad de puno.**

La metodología utilizada totalmente estadística, donde la técnica de análisis estadístico que utilizaremos en nuestro trabajo se basa en el diseño factorial de Kafarov, el cual nos permite determinar las variables y factores de la investigación, para lo cual se utilizó el programa estadístico Statgraphics Centurión XVI.

El diseño factorial se basa en generar datos de acuerdo a la siguiente fórmula.



$$N = 2^k$$

**Donde:**

N = Número total de experimentos

k = Número de variables

En nuestro caso, se realiza los experimentos con dos factores y se plantea dos niveles, por lo que se requerirán:

Número de experimentos:  $N=2^k = 2^2 = 4$  experimentos.

Cuya resolución será la 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

“Primero hallaremos los valores de  $X_1$  y  $X_2$  en función a las variables de entrada del proceso y luego los valores de  $b_0, b_1, b_2, b_3$  (estimadores de los coeficientes de regresión) en función a la variable respuesta Rendimiento (Y)”.

### 3.3.7. Variables de trabajo

Con la finalidad de buscar la optimización de nuestro trabajo de investigación para el proceso de adsorción de níquel en las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno, se determinó como variables tiempo de adsorción de iones níquel y el pH, las que se muestran en la siguiente Tabla 13.

**Tabla 13.***Variables de trabajo*

FACTOR	UNIDAD	SIMBOLO	NIVEL INFERIOR (-)	NIVEL SUPERIOR (+)
pH	Escalar	X <sub>1</sub>	3,33	6,75
Tiempo de adsorción	minutos	X <sub>2</sub>	20	120

La Tabla 13 muestra las variables que se utilizaron en la investigación y los valores del nivel inferior correspondiente al pH y tiempo de adsorción, se tomaron en forma aleatoria, pues ninguna bibliografía indica que valores usar y depende del investigador utilizar los valores que vea por conveniente.

### 3.3.8. Rendimiento de recuperación de Ni<sup>2+</sup>

El objetivo de es determinar la variable respuesta del diseño factorial se procede a cuantificar el porcentaje de rendimiento del Ni<sup>2+</sup> recuperado de la siguiente fórmula y los cálculos se observan en la Tabla 13.

$$\% R = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \%$$

**Dónde:**

%R = Rendimiento de Ni<sup>2+</sup>

W<sub>1</sub> = Peso inicial de Ni<sup>2+</sup>

W<sub>2</sub> = Peso de Ni recuperado

Para tener una visión de los efectos de las variables utilizadas, nuestro diseño factorial ha sido de 6 corridas experimentales combinadas, nos permiten

visualizar cuales son los efectos finales de dicha investigación, cuyos cálculos se observan en la Tabla 14.

**Tabla 14.**

*Cálculo del % de rendimiento para el diseño factorial del Ni<sup>2+</sup>*

N° de Experimentos	W <sub>1</sub> (mg/L)	W <sub>2</sub> (mg/L)	RENDIMIENTO %
1	0,268	0,0260	90,299
2	0,268	0,0194	92,761
3	0,268	0,0176	93,433
4	0,268	0,0172	93,582
5	0,268	0,0147	94,515
6	0,268	0,0118	95,597

Con los valores de la Tabla 15 “se determinó el número de pruebas experimentales a realizar (combinando los valores máximo y mínimo de dos factores establecidos). Para un diseño 2<sup>2</sup> se tiene 4 pruebas experimentales”.

De acuerdo al diseño experimental son 4 las pruebas, pero se incluyen 2 réplicas en el punto central por ser este diseño cuadrático (Miller 1992).

**Tabla 15.**

*Matriz de diseño factorial 2<sup>2</sup>=4 para el Ni<sup>2+</sup>*

N° de Experimentos	COMBINACION DE NIVELES		VARIABLE RESPUESTA (Y) (RENDIMIENTO %)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	
1	20	3,33	90,299
2	120	3,33	92,761
2	20	6,75	93,433
4	120	6,75	93,582
<b>5</b>	<b>70</b>	<b>5,04</b>	<b>94,515</b>
<b>6</b>	<b>70</b>	<b>5,04</b>	<b>95,597</b>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Caracterizar la cantidad de $\text{Ni}^{2+}$ de las aguas de la laguna de estabilización y determinar la aplicación de isothermas de adsorción.

Se caracterizó las muestras de las aguas residuales de la ciudad de Puno, tales como sus propiedades físicas y químicas a través de los análisis físico-químico, se tomaron un promedio de las muestras que fueron analizados en los laboratorios RHLAB S.A.C.-RH-M83-0417 de la ciudad de Juliaca, cuyos resultados se observan en la Tabla 16.

**Tabla 16.**

*Análisis químico de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno*

Parámetro	Concentración (mg/L) Promedio de 6 muestras de $\text{Ni}^{2+}$ (mg/L)	Límite máximo permisible de $\text{Ni}^{2+}$ (mg/L)
<b>D.S. 004-2017-MINAM aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua</b>	0,01778	0,052

Fuente: laboratorio RH LAB S.A.C de la ciudad de Juliaca.

##### 4.1.1.1. Determinación de la isoterma de adsorción de $\text{Ni}^{2+}$ de acuerdo

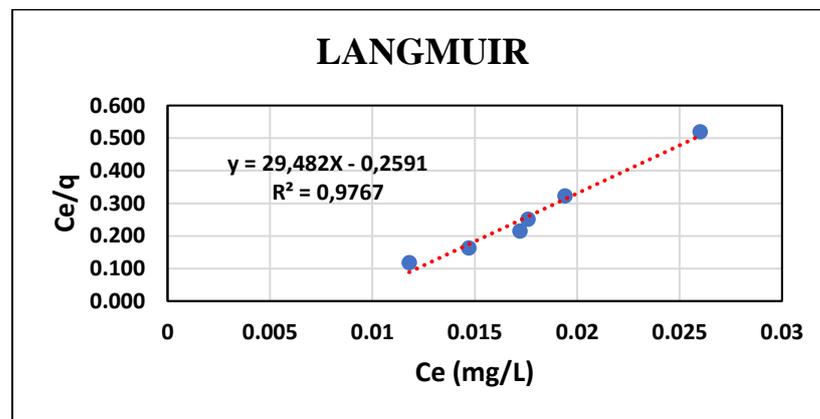
##### Langmuir

Los valores que se obtuvieron, se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 17.**

*Análisis estadístico de parámetros de la isoterma de Langmuir*

Metal	q (promedio) (g)	b (L/mg)	R <sup>2</sup>	Kd
Níquel	3,51	0,0339	0.9767	113,85



**Figura 5.** Isoterma con carbón activado según Langmuir-Ce/q vs Ce

La Figura 5 nos indica que la concentración de iones  $Ni^{2+}$  es ascendente frente al cociente de Ce/q y es importante este gráfico porque nos da un coeficiente de correlación cerca al 100% lo cual indica que la investigación es buena y otro factor importante en la ecuación de la recta la cual nos permite determinar los valores de Langmuir en la isoterma de adsorción del  $Ni^{2+}$  con carbón activado.

Para el desarrollo de las isotermas de Langmuir y de Freundlich se utilizaron los valores de las tablas 18, 19, 20 y 21.

**Tabla 18.**

*Análisis Químico de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno*

Parámetro	Concentración (mg/L) Promedio de 6 muestras de Ni <sup>2+</sup> (mg/L)	D.S. 004-2017-MINAM Ni <sup>2+</sup> (mg/L)
D.S. 004-2017-MINAM aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua	<b>0,268</b>	<b>0,052</b>

Fuente: laboratorio RH LAB S.A.C de la ciudad de Juliaca

**Tabla 19.**

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

Masa carbón activado (mg/L) Co	Concentración en el equilibrio (mg/L) Ce
0,05	0,0260
0,06	0,0194
0,07	0,0176
0,08	0,0172
0,09	0,0147
0,1	0,0118

En la Tabla 20 se detallan los resultados de la parte experimental de adsorción de Ni<sup>2+</sup> con carbón activado.



**Tabla 20.**

*Resultados de los experimentos de adsorción de Ni<sup>2+</sup> con carbón activado-isoterma de Langmuir*

Masa carbón activado (mg/L)	Concentración en el equilibrio (mg/L)			Eje X	Eje Y
	Co	Ce	X=Co-Ce	q=X/m mg/L	Ce/q
0	0,0268	0	0	0,0268	0,0054
0,05	0,0260	0,242	4,84	0,0260	0,0047
0,06	0,0194	0,2486	4,14	0,0194	0,0049
0,07	0,0176	0,2504	3,58	0,0176	0,0055
0,08	0,0172	0,2508	3,14	0,0172	0,0052
0,09	0,0147	0,2533	2,81	0,0147	0,0046
0,10	0,0118	0,2600	2,56	0,0118	0,0054

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

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

Ecuación de la recta de acuerdo a la Figura 5, isoterma de Langmuir

$$Y = 29,482X - 0,2591$$

$$R^2 = 0,9767$$

**Forma lineal Y = mX+b**

**Donde:**

m = Pendiente = 29,482

b = Ordenada = 0,2591

**Ecuación de la Recta**  $\frac{C}{q} = \frac{1}{b}C + \frac{1}{kb}$

Se encuentra el valor de b

$$1/b = m \quad 1/m = b \quad 1/29,482 = b \quad b=0,0339$$

Se encuentra el valor de k

$$1/kb = a \quad 1/kb = 0,2591 \quad 1/0,2591b = k$$

$$k = 1/(0,2591)(0,0339)$$

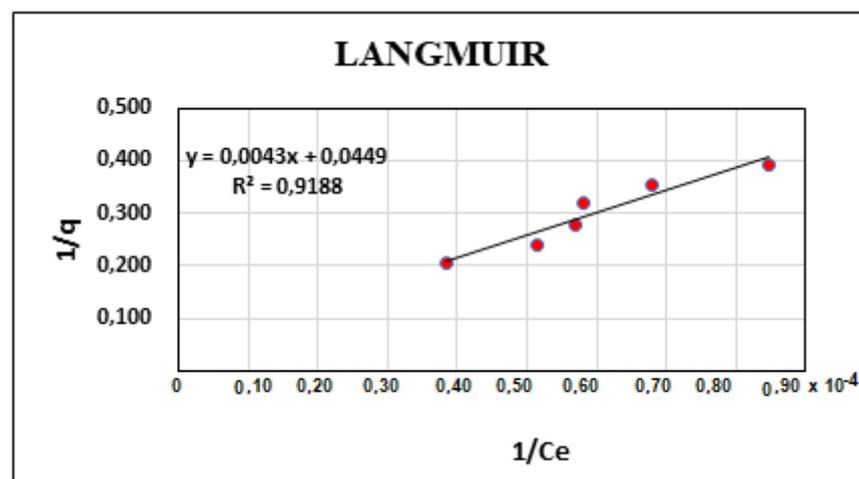
$$k = -113,85$$

En la Tabla 21 se muestra análisis estadístico de los parámetros de la isoterma de Langmuir.

**Tabla 21.**

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

Metal	q (promedio) (g)	b (L/mg)	R <sup>2</sup>	Kd
Níquel	3,51	0,9088	0.9188	0,0499



**Figura 6.** Isoterma con carbón activado según Langmuir -  $1/q$  vs  $1/C_e$

La Figura 6 fue realizado con los datos de la tabla 20 y corresponde al modelo de Langmuir, cuyo comportamiento se representa mediante la siguiente ecuación linealizada:

$$\text{Forma lineal de Langmuir} \quad \text{Log } q = \frac{1}{n} \text{Log } C + \text{Log } Kd$$

Con el objetivo de determinar la isoterma según Langmuir, se utilizaron los siguientes datos:

Ecuación de la recta de acuerdo a la Figura 5, isoterma de Langmuir

$$Y=0,0043X+0,0449$$

**Donde:**

Pendiente=0,0043

Ordenada=0,0449

Se encuentra el valor de b

$$1/b = m \quad 1/m = b \quad 1/(0,0043) = b \quad b=23,25$$

Se encuentra el valor de k

$$1/kb = 0,0449 \quad 1/0,0449b = k \quad k = 1/(0,0449)(23,25)$$

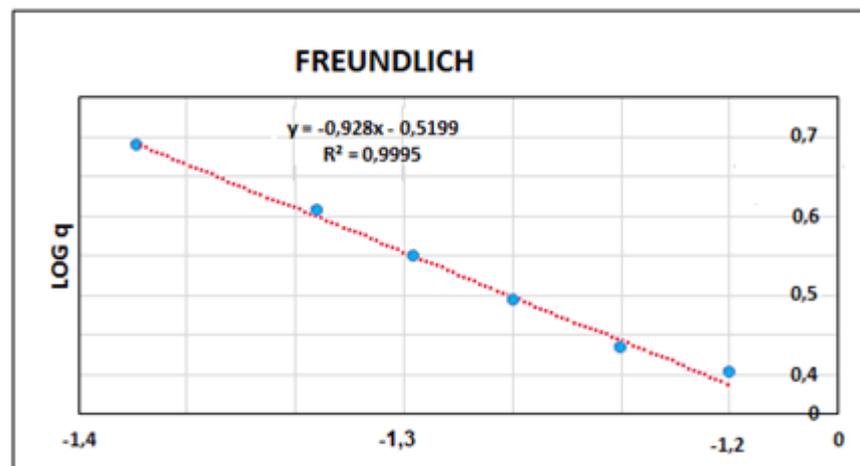
k=-0,9579

La figura 6 nos indica que los valores de  $1/C_e$  (concentración en el equilibrio) se incrementa con  $1/q$  (concentración del adsorbente), siendo importante la figura porque nos indica que el coeficiente de correlación es bueno con el valor de 0,9188 y también nos da la ecuación de la recta el cual nos permite

calcular los valores determinar los valores de Langmuir en la isoterma de adsorción del  $\text{Ni}^{2+}$  con carbón activado.

#### 4.1.1.2. Determinación de la isoterma de adsorción de los iones $\text{Ni}^{2+}$ según Freundlich

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



**Figura 7.** Isotherma según Freundlich

La Figura 7 es importante porque al graficar la isoterma de Freundlich nos proporciona la ecuación de la recta y el coeficiente de regresión, los cuales sirven para encontrar los valores de  $q$  promedio,  $k_d$ .

#### Ecuación de la recta

$$\text{Log } q = 1/n \text{ Log } C + \text{Log } K_d \quad y = - 0,928x - 0,5199$$

**Donde:**

$q$ =Cantidad adsorbida

$C=C_e$ = Cantidad de liquido

$K_d$ =Fuerza de unión

De acuerdo a la ecuación de la recta

$$\text{Pendiente} = -0,928X$$

$$\text{Ordenada} = -0,5199$$

$$\text{Valor de } n: \quad 1/n = m \quad 1/m = n \quad 1/-0,928 = n$$

$$n = -1,077$$

$$\text{Valor de } \log Kd = -0,5199 \quad Kd = 0,3020$$

La Figura 7, corresponde a la isoterma de Freundlich en forma logarítmica, lo que nos permite determinar los parámetros de la isoterma a través de la ecuación de la recta tal como se observa en los cálculos siguientes.

**Tabla 22.**

*Análisis estadístico de parámetros de la isoterma de Freundlich*

Metal	q (promedio) (g)	1/n (b) (L/mg)	R <sup>2</sup>	Kd
Níquel	3,51	1,077	0.9995	0,3020

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

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

Donde Kd y n son constantes empíricas. Una gráfica de log X vs log Ce da una línea recta.

**Tabla 23.***Resultados de los parámetros de las isotermas*

<b>Modelo Isotérmico</b>	<b>q (promedio) (g)</b>	<b>1/n (b) (L/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Kd</b>
<b>Langmuir</b>	3,51	0,0339	0,9767	113,85
<b>Freundlich</b>	3,51	-1,077	0.9995	-20,20

La isoterma de Langmuir y Freundlich, se utiliza para analizar la eficiencia del carbón activado en el proceso de adsorción de iones níquel.

En nuestro caso la isoterma de Freundlich es más eficiente en la adsorción de níquel pues el  $R^2=0,9995$ .

#### **4.1.2. Parámetros óptimos de ph y tiempo de activación para la recuperación de Níquel (II).**

El proceso de agitación magnética depende principalmente de la acidez del agua a tratar cuando este contiene metales pesados y lo recomendable es trabajar en un medio ácido, por lo cual las variables más importantes son el pH y el tiempo de agitación de las muestras.

El pH es muy importante en el proceso de agitación magnética porque la adición del catión metálico provoca un aumento automático del pH por lo que en nuestra investigación lo hemos controlado utilizando  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  1M y/o  $\text{HNO}_3$  0,5M para subir o bajar el pH porque trabajamos en un medio ácido.

Para determinar cómo influye el pH en el proceso de adsorción de níquel por agitación magnética de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno, utilizamos el modelo matemático aplicando el programa estadístico

Statgraphics Centurión XVI, como se observa en el anexo C, siendo el pH 5,04 con un tiempo de agitación de Ni de 70 min, con un  $R^2=87,0764$ .

#### 4.1.3. Modelo matemático para el proceso de adsorción de ni (ii) en la laguna de estabilización de la ciudad de puno

El modelo estadístico Statgraphics Centurión XVI, “ha demostrado a través de los resultados experimentales que el pH es la variable más significativa en el proceso de adsorción de níquel de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno con un valor de 5,04, el coeficiente de correlación obtenido ha sido  $R^2=87,0764$  % y el modelo matemático hallado es”:

$$Y = 89,3698 + 0,013055*\text{Tiempo} + 0,578216*\text{pH}$$

Se utilizaron los siguientes pasos con el programa Centurión XVI, Statgraphics:

**Tabla 24.**

*Análisis de varianza para Y*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tiempo	1,70433	1	1,70433	6,14	0,0895
B: pH	3,91051	1	3,91051	14,08	0,0331
Error total	0,833333	3	0,277778		
Total (corr.)	6,44817	5			

R-cuadrada = 87,0764 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 78,4607 porciento

Error estándar del est. = 0,527046

Error absoluto medio = 0,277778

Estadístico Durbin-Watson = 2,4 (P=0,7949)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,233333

**Tabla 25.**

*Efectos estimados para Y*

---

<b>Efecto</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estd.</b>	<b>V.I.F.</b>
Promedio	89,3698	0,215166	
A: Tiempo	1,3055	0,527046	1,0
B: Ph	1,9777	0,527046	1,0

---

Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

Esta Tabla 25 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. “También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos”.

**Tabla 26.**

*Coefficiente de regresión para Y*

---

<b>Coefficiente</b>	<b>Estimado</b>
constante	89,3698
A: Tiempo	0,013055
B: pH	0,578216

---

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

$$Y = 89,3698 + 0,013055 * \text{Tiempo} + 0,578216 * \text{pH}$$

**Tabla 27.***Camino de máximo ascenso para Y*

Tiempo	pH	Predicción para Y
70,0	5,0372	90,299
71,0	5,0918	92,761
72,0	5,14361	93,433
73,0	5,19541	93,582
74,0	5,24722	94,515
70,0	5,04	<b>95,597</b>

Esta ventana despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). “Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar Y. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando Tiempo en incrementos de 1,0”.

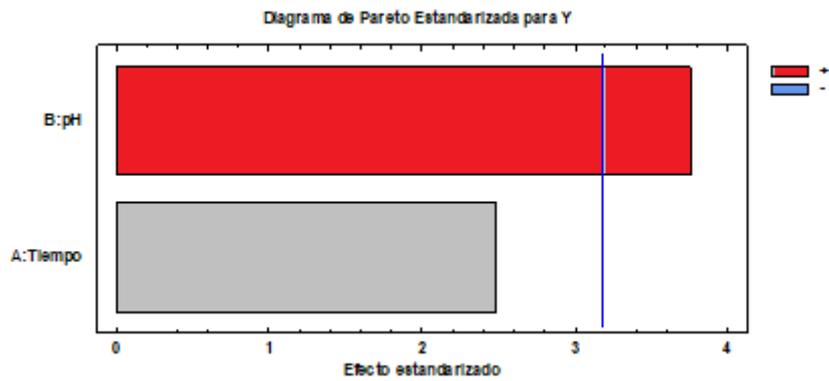
**Tabla 28.***Optimizar Respuesta*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo	20,0	120,0	70,0
pH	3,33	6,75	5,04

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 95,593

En la figura 8 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada.

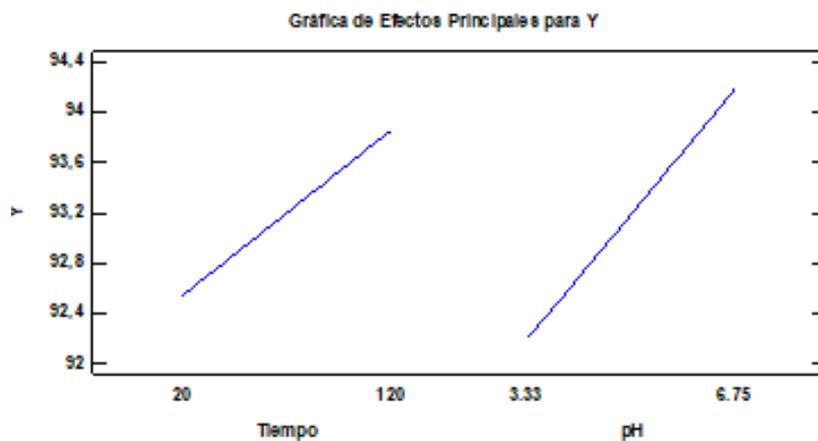


**Figura 8.** Pareto estandarizado para Y

En la figura 8 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 27, “la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, pH y tiempo, la más significativa para la variable respuesta es el pH, cualquier cambio en esta afecta a la variable respuesta Y en mayor grado”.

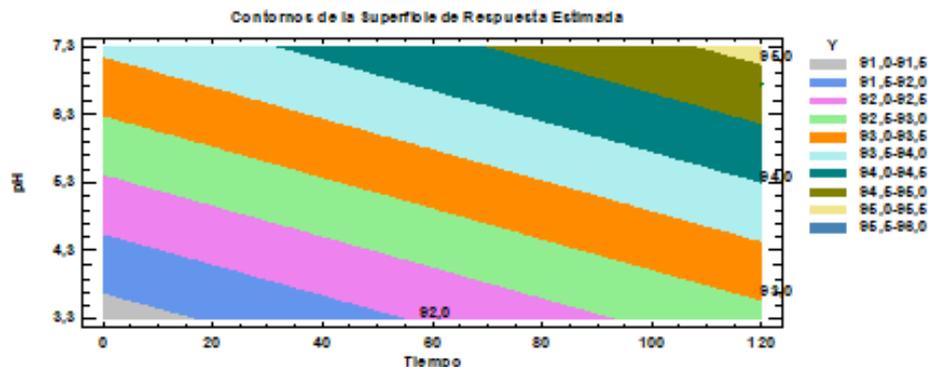
La línea azul muestra la variación del sistema.

La gama de colores muestra hasta qué punto cada variable y combinación de variables representa el conjunto. En los residuos no hay indicios de asociación serial.



**Figura 9.** Efectos principales para Y

La superficie de respuesta de la figura 9 muestra que los componentes interactúan entre sí, lo que sugiere que las variables no son independientes y que el pendiente asociado es positivo.



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

Visualizando el gráfico (isolíneas). “podemos interpretar lo siguiente. El valor óptimo para el tiempo es 70 minutos y un pH de 5,04”.

En este panel se muestra la dirección ascendente. Si quieres maximizar o minimizar el Rendimiento, señala dónde debes hacer más pruebas.

## 4.2. DISCUSIÓN

Según Choque (2018), por el método de precipitación, aplicando un pH que varía de 9,3 a 5,3 durante 5 días de ser aplicado el método de recuperación de cadmio y para la recuperación de Ni el pH varió de 6,8 a 6,2, siendo los porcentajes de remoción de 83,47 % y 75,02 %, Respectivamente, lo que indica que la cinética de adsorción fue rápida utilizando el tarwi.

En nuestro trabajo de investigación desarrollado con carbón activado la concentración promedio recuperado de Ni en las aguas de la laguna de estabilización es de 0,0118 mg/L con 95,597 % de recuperación.



Basso *et al* (2001), trabajó con el modelo de Langmuir, que es la isoterma de adsorción de metales en su estado iónico, en especial los iones Ni, utilizando carbón activado de la caña, utilizando un incremento del pH, el cual favorece la adsorción de este elemento, A través de su investigación recupera el 90 % de iones Ni, con carbón activado de caña preparado con ácido clorhídrico.

En nuestro trabajo de investigación, utilizando carbón activado, por el método de agitación magnética se recuperó el 95,597 % de iones níquel.

Choque (2018), Trabajó con “lodos de la parte norte de la planta de estabilización de aguas residuales, Aplicó la solución acuosa de la semilla de tarwi por bioprecipitación para extraer los metales pesados, el pH de la solución acuosa inicial fue de 9,3 y después de cinco días el pH fue de 5,3, para la remoción de Ni, el inicio de 6,8 mg/kg, bajo a 6,2 mg/kg, su porcentaje de remoción fue 8,82 %, La cinética de adsorción fue bastante rápida mediante la bioprecipitación orgánica de alcaloides de tarwi”.

Nosotros trabajamos con carbón activado de 0,05 a 0,1 “mg con agitación constante de 500 rpm con un tiempo de 20 para la primera muestra y luego fue variando el tiempo hasta 120 minutos para la última prueba, el pH varió de 3,33 a 6,75, donde el mejor resultado es la prueba 6 con un resultado de pH=5,04 y un tiempo de trabajo de 70 min”.

Con respecto a la isoterma de adsorción, el proceso cumple con el pseudo segundo orden, cuyo valor de  $R^2$  es 0,9995 que es mayor al valor  $R^2$  de Langmuir.



## V. CONCLUSIONES

- Las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno contienen 0,268 mg/L los cuales superan los límites máximos permitidos por el D.S. 004-2017-MINAM que aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establece Disposiciones Complementarias, Luego del proceso de adsorción con carbón activado, la concentración promedio recuperado de Ni en las aguas de la laguna de estabilización es de 0,0118 mg/L con 95.597 % de recuperación.
- La Tabla 21 muestra la evaluación de las isotermas de Langmuir y de Freundlich y se observa que la isoterma de Freundlich ajusta mejor los datos experimentales, ya que su coeficiente de correlación fue más alto, lo cual nos permite asumir que el proceso cumple con el pseudo segundo orden, cuyo valor de  $R^2$  es 0.9995 que es mayor al valor  $R^2$  de Langmuir.
- Para el proceso de agitación magnética, se utilizaron 6 vasos de precipitado conteniendo 200 mL de agua de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno, muestras que fueron tomada en diferentes lugares y que contenían níquel, para determinar los parámetros físico-químicos en el proceso de adsorción con carbón activado con 0,05 a 0,1 mg con agitación constante de 500 rpm con un tiempo de 20 para la primera muestra y luego fue variando el tiempo hasta 120 minutos para la última prueba, el pH varió de 3,33 a 6,75 para cada proceso, siendo éste el factor más importante, para ajustar el pH deseado, se utilizaron soluciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{HNO}_3$  0,1 M como corrector del pH en cada caso, siendo el mejor resultado la prueba 6 con un resultado de  $\text{pH}=5,04$  y un tiempo de trabajo de 70 min.
- Para la evaluación de la concentración de níquel, se tomó en cada vaso de precipitado 200 mL de la muestra y se pusieron en contacto con 0,05 a 0,1 mg de carbón activado con agitación constante a 500 rpm y a pH de 3,33 a 6,75 como se muestra en la figura,



por un tiempo de 20 minutos para la primera experiencia, luego se fue variando el tiempo hasta 120 minutos para la última prueba con agitación magnética a temperatura constante, Al cabo de este tiempo, la solución fue filtrada con papel filtro Waltman N°40, Las concentraciones finales de níquel de las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de puno, se determinaron por absorción atómica.

- El efecto del pH sobre la remoción de níquel se realizó variando el valor del pH de la solución inicial en el rango 3,33 a 6,75 para ajustar el pH deseado, se utilizaron soluciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0,5 M y  $\text{HNO}_3$  0,1 M según fuera conveniente.
- El coeficiente de correlación obtenido fue de  $R^2 = 87,0764 \%$  para las aguas de la laguna de estabilización de la ciudad de Puno, lo que nos demuestra que el proceso de adsorción de níquel con carbón activado y agitación magnética es adecuado, obteniéndose el siguiente modelo matemático.

$$Y = 89,3698 + 0,013055 * \text{Tiempo} + 0,578216 * \text{pH}$$



## VI. RECOMENDACIONES

- El Gobierno Regional de Puno y la Municipalidad Provincial de la ciudad de Puno deben trabajar en conjunto para mejorar el estado de conservación y utilización de las lagunas de estabilización, los cuales cumplen un rol importante en el lago pues evitan que los metales pesados que contiene contaminen el lago, aguas que sirven a la ciudad de Puno para el consumo humano.
- La Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano debe analizar los trabajos de investigación sobre técnicas de recuperación de metales pesados a bajos costos y que pueden ser un buen aporte para la región sobre contaminación de metales.
- Se recomienda analizar estudios de los metales pesados que no han sido evaluados en el presente trabajo de investigación y ver la posibilidad si el carbón activado adsorbe otros metales que contaminan el Lago Titicaca.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afena P. (2006). Treatment of Carbonaceous Refractory Gold Ores. Mineral Engineering . *Univ. Tecnología, Lae, PNG* , Inglaterra.
- Agorube L. (2008). Remoción de Metales Pesados por Medio de Adsorbentes no convencionales. (*Tesis de pregrado*). Universidad de la Frontera, Temuco-Chile.
- Alami, S. (2010). Aprovechamiento del Hueso de la Aceituna, Biosorción de Iones metálicos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Granada, España.
- Alomá I., Martín L. M.A., Rodríguez G. I.L. y Blázquez M. G. (2012). Removal of nickel (II) ions from aqueous solutions by biosorption on sugarcane bagasse. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical*. 43 (2), 275-281.
- Barreto C. (2013). Obtención de carbón activado a partir de la pepa de la aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Callao, Lima.
- Basso M. C. Cerrella E. Cukerman A.L, (2001). Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados mediante carbones activados obtenidos de un precursor renovable. Programa de Investigación. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Bensal R. y Goyal M. (2005). Activated Carbon Adsorption. *CRC Press, Boca Ratón*, 145-196.
- Boada S. P. J. (2015). Estudio del Proceso de Biosorción de Contaminantes en Efluentes Acuáticos Mediante Cilantro (*Coriandrum Sativum*). (*Tesis de Licenciatura*). Facultad de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Bustamante A. (2011). Adsorción de metales pesados de residuos de café modificados químicamente. Universidad Autónoma de Nuvo León, México.



- Caviedes R. D. I., Muñoz C. R. A., Perdomo G. A., Rodríguez A. D. y Sandoval R. I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Revisión. *Revista Ingeniería y Región*. 13(1), 73-90.
- Cabrera Choccata Yanina. (2018). Evaluación de la capacidad de biosorción de Plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallo de rosas) como adsorbente. (*Tesis para optar el Grado de Maestro*). Universidad Nacional de San Agustín, AreqBuipa.
- Can M.Y., Kaya Y. y Algur O. F. (2006) Response surface optimization of the removal of nickel from aqueous solution by cone biomass of *Pinus sylvestris* Biosource Technology. 97 (14), 1761-1765.
- Cañizares V. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 42,131-143.
- CEPIS/OPS Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo. Lima, Perú.
- Colina E. (2012). Remoción de Pb(II) de Soluciones Mediante Carbón Activado. (*Tesis de pregrado*). Universidades de Magdalena, Colombia.
- Choque Yucra Martín. (2018). Remoción de iones Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II) de lodos sedimentados en la bahía interior de Puno - Lago Titicaca utilizando bioadsorbente acuoso de la semilla de tarwi (*Lupinus mutabilis*). (*Tesis para optar el Grado de Doctor*). UNA, Puno.
- Delgadillo L. A. E., González R. A.C., Prieto G. F., Villagómez I. R. J. y Acevedo. S. O. (2011). Fitorremediación: Una Alternativa Para Eliminar la Contaminación Revisión. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597- 612.



- De Montreuil (1986). "Mineralogía de Oro y su relación con el Tratamiento Metalúrgico".  
Instituto de Ingenieros de Minas del Perú
- Dimas R. G. L. (2011). Estudio de la Interacción de Metales Pesados (Pb, Cd, Zn Y Cr) en Solución, en el Proceso de Biosorción por Tres Tipos de Biomasa. (*Tesis de Maestría*). Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Químicas. Nuevo León, México.
- EMSAPUNO S.A (2011). Resumen descriptivo del sistema de tratamiento de agua residual en la ciudad de Puno - Perú
- García, L. y Dorronsoro, C. (2009), contaminación del suelo. Tema 15. Contaminación en metales pesados. Actualización: 10 de octubre del, p. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema00/home.htm>
- Galedar M. y Younesi H. (2013) Biosorption of Ternary Cadmium, Nickel and Cobalt Ions from Aqueous Solution onto *Saccharomyces Cerevisiae* Cells: Batch and Column Studies. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 9 (1), 47-60.
- Henning K. y Schafer S. (1993). Impregnated activated carbon for environmental protection. *Gas Separation and Purification. Trabajo de investigación*. UNC, Cuba.
- Herrera G. L. (2015). Bioadsorción de Cromo Hexavalente de Soluciones Acuosas Utilizando Cáscara de Plátano. *Experiencia Recepcional*. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
- Izquierdo Sanchis Martha. (2010). Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. evaluación de materiales y modelación del proceso. *Tesis para optar el Grado de Doctor*. Universidad de Valencia, España.



- Lezcano V. J. M. (2008). Efecto del Pretratamiento de Biomasa Procedente de un Hábitat Eutrofizado sobre la Bioadsorción de Metales Pesados. (*Tesis de Doctorado*). Facultad de ciencias biológicas, Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Microbiología III. Madrid, España.
- Lucho, C.A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. and Poggi, H. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environmental International*, On Line: 0160- 4120-Ddoi: 10.1016.
- Luna C. Gordon M. Martín M. (2007). Obtención de Carbón Activado a partir de la Cascara de Coco. *Trabajo de investigación*. Universidad de Extremadura, España.
- Marlon M. (2009). Producción de Carbón Activado a partir de precursores Carbonosos del Departamento del Cesar Colombia. *Trabajo de investigación*. El Cesar, Centro de Investigación y Desarrollo tecnológico, Colombia.
- Martín L. M. A. (2008). Caracterización y Aplicación de Biomasa Residual a la Eliminación de Metales Pesados. (*Tesis de Doctorado*). Facultad de Ciencias, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Granada. Granada, España
- Martínez F. (2008). Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. (*Tesis para optar el Grado de Doctor*). Universidades de C astilla-La mancha, España.
- Martínez J. (1990). Adsorción de gases y vapores por carbones. *Espagrafc*. Aliocante, Alicante.
- Martínez C.C. (2003). Abonos Orgánicos: Origen, Usos y Aplicación. Secretaría de Desarrollo Social del Gobierno del Estado de Chiapas. Dirección de Promoción Social. Chiapas México.



- Miller I. (1998). Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Prentice-Hall.
- Mohanty K. Jha M. Meikap B. Biswas M. (2005). Biosorción de Cr (VI) de soluciones acuosas por Eichhornia Crassipes. *Chemical Engineering Journal*, págs. 71-77.
- Moreno Edmundo. Perez Argote. Alfaro Rene. Goyzueta Camachio Gilmar. (2017). Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca- Puno. (*Trabajo de Investigación*). UNA, Puno.
- Muñoz C. A. J. (2016). Biosorción de Plomo, Zinc, Plata con Biomasa Microbiana Aislada de Aguas Residuales de la Provincia de Jaén. (*Tesis de Doctorado*). Facultad de Ciencias Experimentales, Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales, Universidad de Jaén. España.
- Nyer K. (2009). *Groundwater Treatment Tecchnology. United States of America: (Third ed.)*. United States of América: Published by Wiley y Sons Inc.
- Othman N. y Juki M. I. (2011) Characterization and optimization of heavy metals biosorption by fish scales. Regional Symposium on Engineering and Technology 2011. Kuching, Sarawak, Malaysia.
- Padrón R. Gomez A. Garcia A. Gonzales L. (2013). El carbon activado, un material adsorbente. *Artículo científico*. Scielo, Suba.
- Pérez, R. (2011). Efecto de los metales pesados en el medio ambiente y la salud humana. Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca,” Pinar del Río, Cuba
- Perdomo A. (2014). Obtención de carbono activado. *Artículo científico*. Scielo, Mexico.
- Saavedra Concha Ricardo. (2019). Biorremediación de aguas con metales pesados mediante biomasa microalgal. (*Tesis para optar el Grado de Doctor*. Universidad de Valladolid, España.
- Rodrigues F. y Molina M. (2012). El carbón activado en procesos de descontaminación.



- (*Tesis de pregrado*). Universidad de Alicante, España.
- Rodriguez F. (2007). *El carbón activado como adsorbente universal*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Rochow Eugene G. (1981). *Química Inorgánica Descriptiva*-Pag 228. Edit. Reverte
- Sáez González Patricia. (2020). *Eliminación de metales estratégicos en aguas residuales mediante adsorción con zeolitas naturales. (Tesis para optar el grado de Doctor)*. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Sánchez S. N. A. (2016). *Biosorción en Tanque Agitado de Cd<sup>2+</sup> y Pb<sup>2+</sup> con Cascara de Cacao. (Tesis de Licenciatura)*. Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad de Cuenca.
- Seolatto A.A., Martins T. D., Bergmasco R., Tavares C. R. G., Cossich E. S. y da Silva E. A. (2014). *Biosorption study of Ni<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by Sargassum filipendula: Kinetics and equilibrium*. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 31(1), 211-227.
- Sepulveda A. B. F. (2008). *Eliminación de emisiones atmosféricas de COVs por catálisis y adsorción*. Argentina: Cooperación Iberoamericana.
- Soto R. E. Lozano R.T. Barbarín C.J. Rodriguez M. (2005). *Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. (Tesis de Maestría)*. UANL, México.
- Tejada T. C., Villabona-O. A. y Garcés J. L. (2015). *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*. Tecno Lógicas. 18(34), 109-123
- Tejada T. C., Villabona O. A. y Paternina R. E. (2016). *Adsorción de Ni (II) por cáscaras de ñame (Dioscorea rotundata) y bagazo de palma (Elaeis guineensis) pretratadas*. Revista Luna Azul. 42, 30-43



- Vijayaraghavan K., Jegan J., Palanivelo K. y Vela M. (2005). Biosorption of cobalt (II), and nickel (II) by seaweeds: batch and colum studies. *Separation and Purification Technology*. 44(1), 53-59.
- Vullo D. L. (2003) Microorganismos y Metales Pesados: Una Interacción en Beneficio del Medio Ambiente. *Revista Química Viva*. 3(2), 93-104
- Yagnenkovsky Nadia. (2011). Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. (*Tesis para optar el Grado de Doctor*). Universidad Nacional de la Plata, Argentina.



## ANEXOS

## ANEXO A

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

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

**Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable**

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		0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	)	20 (a)		*	**
Clorofila A	mg/L	0	**	*	*	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5	10	1	1	10
Fenoles	mg/L		2,56		5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	5	0,05	0	0,124	0,06
Nitratos (NO <sub>3</sub> -) (c)	mg/L	13	13	1	200	200
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	1	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L		**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	$\geq 5$	$\geq 5$	$\geq$	$\geq$	$\geq 4$
Potencial de H (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	$\leq 25$	$\leq 100$	$\leq$	$\leq 100$	$\leq 30$
Sulfuros	mg/L	0	0,002		20,002	0,002
Temperatura	°C	3	$\Delta 3$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta 2$
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	m/L	0	0,64	4	*	**
Arsénico	mg/L		0,15	5	0,036	0,036
Bario	mg/L	7	0,7	1	1	**
Cadmio disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	1	0,011	1	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,001		0,001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052		0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0	0,0025	0	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L		0,005		0,071	0,071
Talio	mg/L	8	0,0008	0	**	**
Zinc	mg/L	2	0,12	0	0,081	0,081

## ANEXO B

**Tabla 29.***Análisis de varianza para Y*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tiempo	1,70433	1	1,70433	6,14	0,0895
B: pH	3,91051	1	3,91051	14,08	0,0331
Error total	0,833333	3	0,277778		
Total (corr.)	6,44817	5			

R-cuadrada = 87,0764 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 78,4607 porciento

Error estándar del est. = 0,527046

Error absoluto medio = 0,277778

Estadístico Durbin-Watson = 2,4 (P=0,7949)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,233333

**Tabla 30.***Efectos estimados para Y*

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	89,3698	0,215166	
A: Tiempo	1,3055	0,527046	1,0
B: Ph	1,9777	0,527046	1,0

Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

Esta tabla 30 “muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores

serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos”.

**Tabla 31.**

*Coefficiente de regresión para Y*

<b>Coefficiente</b>	<b>Estimado</b>
constante	89,3698
A: Tiempo	0,013055
B: pH	0,578216

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

$$Y = 89,3698 + 0,013055 * \text{Tiempo} + 0,578216 * \text{pH}$$

**Tabla 32.**

*Camino de máximo ascenso para Y*

<b>Tiempo</b>	<b>pH</b>	<b>Predicción para Y</b>
70,0	5,0372	90,299
71,0	5,0918	92,761
72,0	5,14361	93,433
73,0	5,19541	93,582
74,0	5,24722	94,515
70,0	5,04	<b>95,597</b>

“Esta ventana despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar Y. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando Tiempo en incrementos de 1,0”.

**Tabla 33.**

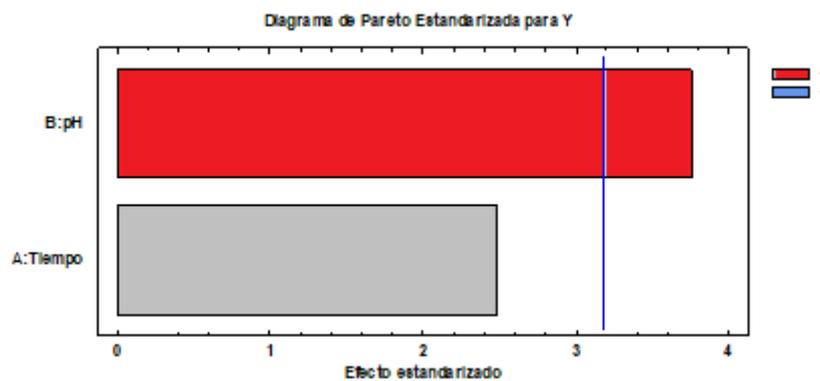
*Optimizar Respuesta*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo	20,0	120,0	70,0
pH	3,33	6,75	5,04

Meta: maximizar Y

Valor óptimo = 95,593

“En la figura 12 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Y sobre la región indicada”.



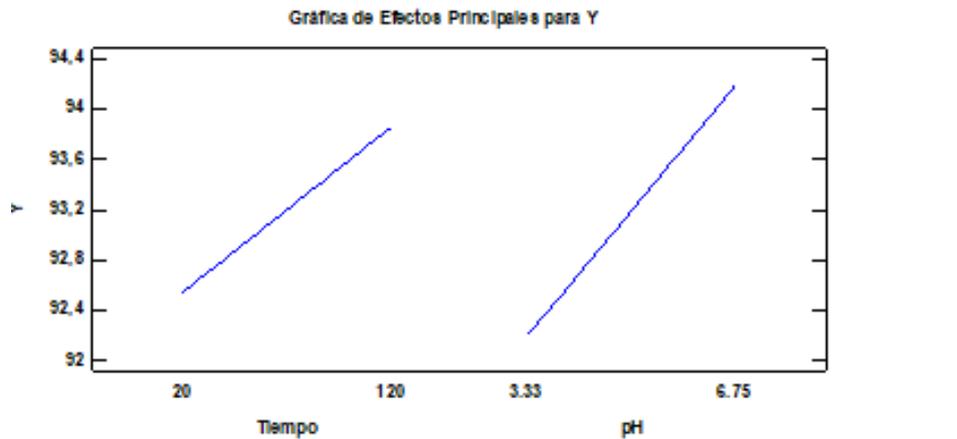
**Figura 11.** Pareto estandarizado para Y

“Esta figura 11 ha sido elaborada en base a los datos de la tabla 27, la cual muestra cada uno de los efectos estimados e interacciones, entre las variables, pH y tiempo, la más significativa para la variable respuesta es el pH, cualquier cambio en esta afecta a la variable respuesta Y en mayor grado”.

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

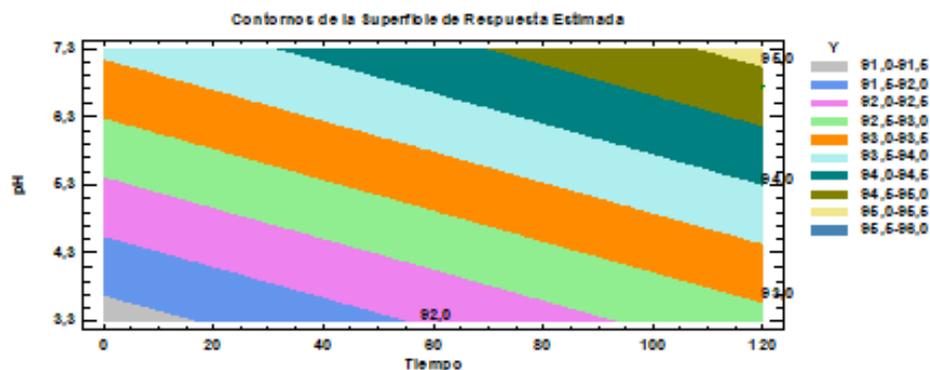
Los colores indican cuan representativos son las variables y sus combinaciones.

No hay indicios de correlación de serie en los residuos



**Figura 12.** Efectos principales para Y

En la figura 12 “se puede visualizar que existe interacción entre los factores, por lo que estas variables son independientes lo que corresponde a la superficie respuesta, nos indica que la pendiente correspondiente a todas las variables es positiva”.



**Figura 13.** Contornos de superficie de la respuesta estimada

“Visualizando el grafico (isolíneas). podemos interpretar lo siguiente. El valor óptimo para el tiempo es 70 minutos y un pH de 5,04”.

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

## ANEXO C

### TOMA DE MUESTRAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO



**Figura 14.** Toma de muestras en la laguna de estabilización



**Figura 15.** Toma de muestra 2 en la laguna de estabilización

## PREPARACIÓN Y PESANDO EL CARBÓN ACTIVADO



**Figura 16.** Pesando el carbón activado



**Figura 17.** Preparando y pulverizando el carbón activado

## AGITACION MAGNÉTICA



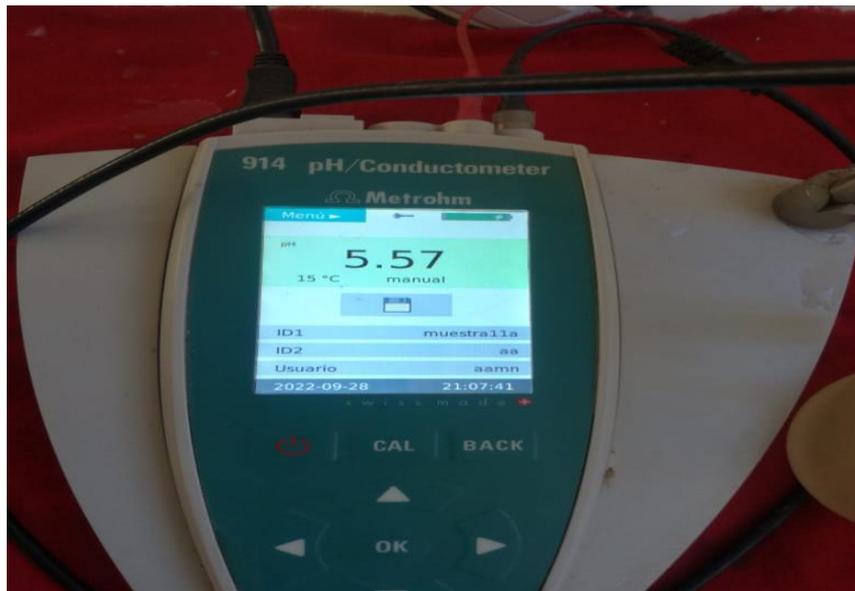
**Figura 18.** Preparación de las muestras de agua con carbón activado



**Figura 19.** Agitación magnética de cada muestra



**Figura 20.** Toma del pH de las diferentes muestras



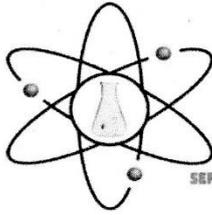
**Figura 21.** pH de una de las muestras de agua



**Figura 22.** Filtrando las muestras de agua después del proceso de agitación magnética



**Figura 23.** Seis muestras filtradas después del proceso de agitación magnética, listas para su análisis químico



**RHLAB S.A.C.**

SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

**RH-M95-1691**

## INFORME DE ENSAYO

### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : **SR. ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA**

ASUNTO : Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra

PROCEDENCIA : LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 01

SOLICITUD DE ENSAYO : Análisis Químico elemento Níquel (Ni)

PROYECTO : LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO

RECEPCION DE MUESTRAS : Botella de plástico, debidamente conservado.

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 13/09/2022 al 27/09/2022

### DETALLE DEL INFORME

### RESULTADO DE ENSAYO

Fecha de Muestreo	13/09/2022	
Hora de Muestreo	10:45:00	
Nombre de muestra	Muestra 1	
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica		
Níquel (Ni)	mg/L	0,268
pH		7,00

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

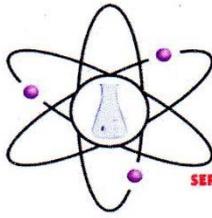
### METODOS DE REFERENCIA

\* Determinación de Sodio (Na) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.

RHLAB S.A.C.  
*[Firma]*  
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

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

Cel: 978645480 - 935008140



**INFORME DE ENSAYO**

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE	:	<b>SR. ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA</b>
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra
PROCEDENCIA	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	01
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Niquel (Ni)
PROYECTO	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Botella de plástico, debidamente conservado.
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	01/10/2022 al 15/10/2022

**DETALLE DEL INFORME**

**RESULTADO DE ENSAYO**

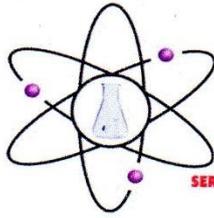
Fecha de Muestreo	01/10/2022	
Hora de Muestreo		
Nombre de muestra	Muestra: pH 5,57	
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica		
Niquel (Ni)	mg/L	0,0172

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 Sodio (Na) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.

RHLAB S.A.C.  
*[Firma]*  
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO



RH-M97-1901

## INFORME DE ENSAYO

### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE	:	<b>SR. ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA</b>
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra
PROCEDENCIA	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	01
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Niquel (Ni)
PROYECTO	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Botella de plástico, debidamente conservado.
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	01/10/2022 al 15/10/2022

### DETALLE DEL INFORME

### RESULTADO DE ENSAYO

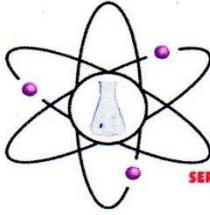
Fecha de Muestreo	01/10/2022	
Hora de Muestreo		
Nombre de muestra	Muestra: pH 4,99	
Parámetro	Unidad	Resultado
ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica		
Niquel (Ni)	mg/L	0,0176

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 Sodio (Na) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.





RH-M97-1900

## INFORME DE ENSAYO

### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE	:	<b>SR. ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA</b>
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra
PROCEDENCIA	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	01
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Niquel (Ni)
PROYECTO	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Botella de plástico, debidamente conservado.
FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO	:	01/10/2022 al 15/10/2022

### DETALLE DEL INFORME

### RESULTADO DE ENSAYO

Fecha de Muestreo	01/10/2022	
Hora de Muestreo		
Nombre de muestra	Muestra: pH 4,13	
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica		
Niquel (Ni)	mg/L	0,0194

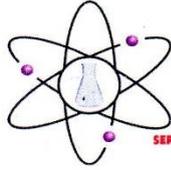
Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

### METODOS DE REFERENCIA

\* Determinación de Sodio (Na) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.

RHLAB S.A.C.  
*[Firma]*  
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

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



**INFORME DE ENSAYO**

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE	:	SR. ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra
PROCEDENCIA	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	01
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Niquel (Ni)
PROYECTO	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Botella de plástico, debidamente conservado.
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	01/10/2022 al 15/10/2022
<b>DETALLE DEL INFORME</b>		

**RESULTADO DE ENSAYO**

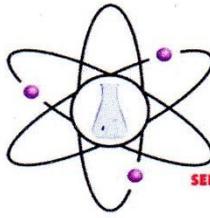
Fecha de Muestreo	01/10/2022	
Hora de Muestreo		
Nombre de muestra	Muestra: pH 3,33	
Parámetro	Unidad	Resultado
ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica		
Niquel (Ni)	mg/L	0,0260

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 Sodio (Na) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.

RHLAB S.A.C.  
*[Firma]*  
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO



**INFORME DE ENSAYO**

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE	:	<b>SR. ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA</b>
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra
PROCEDENCIA	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	01
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Niquel (Ni)
PROYECTO	:	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Botella de plástico, debidamente conservado.
FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO	:	01/10/2022 al 15/10/2022
<b>DETALLE DEL INFORME</b>		

**RESULTADO DE ENSAYO**

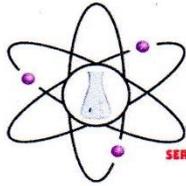
Fecha de Muestreo	01/10/2022	
Hora de Muestreo		
Nombre de muestra	Muestra: pH 6,75	
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica		
Niquel (Ni)	mg/L	0,0118

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 Sodio (Na) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.

RHLAB S.A.C.  
*[Firma]*  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO Y METALÚRGICO



**INFORME DE ENSAYO**

DATOS DEL CLIENTE	
A SOLICITUD DE	SR. ESTIF MICHAEL BELLIDO CALSINA
ASUNTO	Determinación Analítica del contenido Metálico Total en la muestra
PROCEDENCIA	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	
CANTIDAD DE MUESTRAS	01
SOLICITUD DE ENSAYO	Análisis Químico elemento Niquel (Ni)
PROYECTO	LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO
RECEPCION DE MUESTRAS	Botella de plástico, debidamente conservado.
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	01/10/2022 al 15/10/2022
DETALLE DEL INFORME	

**RESULTADO DE ENSAYO**

Fecha de Muestreo	01/10/2022	
Hora de Muestreo		
Nombre de muestra	Muestra: pH 6,34	
Parámetro	Unidad	Resultado
ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por Espectrofotometría de Absorción Atómica		
Niquel (Ni)	mg/L	0,0147

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 Sodio (Na) en agua - Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.



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

Por el presente documento, Yo Estif Michael Bellido Calsina  
identificado con DNI 72034237 en mi condición de egresado de:

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

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

"Determinación de la isoterma de adsorción y remoción  
de iones níquel (II) en carbón activado en la laguna  
de estabilización de la ciudad de Puno"

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de Julio del 2023

  
FIRMA (obligatoria)





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Estif Michael Bellido Calsina,  
identificado con DNI 72034237 en mi condición de egresado de:

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

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
" Determinación de la isoterma de adsorción y remoción  
de iones níquel (II) en carbón activado en la laguna  
de estabilización de la ciudad de Puno. "

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 13 de Julio del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella