

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Biosorción de plomo en aguas contaminadas  
empleando biomasa del Nostoc Commune como  
alternativa ecológica**

Celinda Breña Chamorro

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE .....	V
LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>14</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.2.1. Problema general .....	15
1.2.2. Problemas específicos .....	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo general .....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación e importancia .....	16
1.5. Hipótesis y descripción de las variables.....	17
1.5.1. Hipótesis general.....	17
1.5.2. Hipótesis específica.....	17
1.5.3. Variables.....	18
1.5.4. Parámetros de operación .....	18
1.6. Delimitación de la investigación .....	19
1.6.1. Delimitación geográfica .....	19
1.6.2. Delimitación temporal.....	19
1.7. Limitaciones de la investigación .....	19
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	21
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	21
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	24
2.2. Bases teóricas .....	27
2.2.1. Alteración de la calidad del agua con metales pesados .....	27
2.2.2. Los metales pesados.....	28
2.2.3. Principales fuentes antropogénicas de generación de plomo .....	29
2.2.4. Métodos para determinar las concentraciones de plomo .....	30
2.2.5. Métodos tradicionales para la eliminación de metales pesados .....	31
2.2.6. La biosorción como una alternativa ecológica .....	34
2.2.7. Las cianobacterias.....	39
2.2.8. Nostoc commune.....	39
2.2.9. Cinética.....	41
2.2.10. Modelos teóricos .....	43
2.3. Definición de términos .....	45
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....</b>	<b>46</b>
3.1. Métodos y alcance de la investigación .....	46
3.1.1. Método.....	46
3.1.2. Nivel.....	57
3.1.3. Tipo.....	57

3.2.	Diseño de la investigación.....	58
3.2.1.	Tipo de diseño de investigación .....	58
3.3.	Población y muestra .....	59
3.3.1.	Población.....	59
3.3.2.	Muestra.....	59
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	60
3.4.1.	Espectroscopía de absorción atómica .....	60
3.5.	Técnicas de procesamiento de datos.....	61
3.5.1.	Equilibrio de adsorción .....	61
3.5.2.	Modelos cinéticos .....	62
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>63</b>
4.1.	Resultados de la investigación.....	63
4.1.1.	Caracterización del material biosorbente .....	63
4.1.2.	Influencia de la dosis de la biomasa .....	71
4.1.3.	Influencia del pH.....	73
4.1.4.	Influencia de la concentración inicial de plomo.....	75
4.1.5.	Isotermas de adsorción .....	77
4.1.6.	Cinética de biosorción .....	82
4.1.7.	Proceso de biosorción en el efluente artificial.....	90
4.2.	Análisis Estadístico.....	92
4.2.1.	Prueba de Normalidad.....	92
4.2.2.	Determinación de los efectos significativos .....	93
4.2.3.	Gráficos del análisis del diseño factorial .....	94
4.2.4.	Gráfico de interacción de $Q_e$ del plomo y las variables.....	96
4.2.5.	Comparación de los resultados de capacidad de adsorción teórico y experimental	98
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>101</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>102</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>103</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>108</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Variables Dependientes. ....	18
Tabla N° 2: Variables Independientes.....	18
Tabla N° 3: Parámetros de operación.....	18
Tabla N° 4: Metales Pesados en la Naturaleza. ....	27
Tabla N° 5: Comparación de las tecnologías de tratamiento para aguas contaminadas con Metales Pesados. ....	33
Tabla N° 6: Descripción taxonómica del Nostoc commune. ....	39
Tabla N° 7: Preparación de las soluciones experimentales.....	51
Tabla N° 8: Representación tabular del diseño factorial $2^3$ .....	58
Tabla N° 9: Número de muestras y características.....	60
Tabla N° 10: Acidez del Nostoc commune.....	63
Tabla N° 11: Análisis de composición química del biosorbente Nostoc commune antes del contacto con plomo. ....	69
Tabla N° 12: Análisis de composición química del biosorbente Nostoc commune después del contacto con plomo.....	70
Tabla N° 13: Constantes de las isothermas de Langmuir y Freundlich en la biosorción de Pb (II) con Nostoc commune. ....	80
Tabla N° 14: Valores calculados empleando las constantes de los modelos teóricos. ....	80
Tabla N° 15: Parámetros cinéticos para la adsorción de plomo con el Nostoc commune. ....	89
Tabla N° 16: Resultado del análisis químico del efluente industrial artificial. ....	90
Tabla N° 17: Cuadro comparativo de la concentración de plomo del efluente artificial con los límites máximos permisibles. ....	91
Tabla N° 18: Resultado de la concentración de $Pb^{+2}$ después del contacto con el biosorbente. ....	91
Tabla N° 19: Comparación de $Q_e$ práctico y teórico.....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Delimitación geográfica de la investigación.....	19
Figura N° 2: Sistema de un espectrómetro de AA. ....	31
Figura N° 3: Mecanismos en la biosorción.....	35
Figura N° 4: El Nostoc commune deshidratado tiene un aspecto oscuro con una textura seca, al contrario, el hidratado se muestra con un color verde y una textura gelatinosa conservando su humedad.....	40
Figura N° 5: Recolección de la biomasa. ....	47
Figura N° 6: El lavado de la biomasa se realizó primero con agua de grifo, donde se desechó todos los residuos para finalmente lavarlo con agua destilada. ....	48
Figura N° 7: Deshidratación de la biomasa.....	49
Figura N° 8: Molienda de la biomasa. ....	50
Figura N° 9: Soluciones de plomo a distintas concentraciones. ....	52
Figura N° 10: Biosorción de plomo, empleando un agitador magnético múltiple. ....	53
Figura N° 11: Microscopio electrónico de barrido Philips S-505.....	54
Figura N° 12: Viraje de color empleando el Método Boehm.....	56
Figura N° 13: Métodos específicos de la investigación. ....	57
Figura N° 14: Representación 3D del diseño factorial 2 <sup>3</sup> .....	59
Figura N° 15: Espectrofotómetro de absorción atómica. ....	61
Figura N° 16: Relación entre la acidez superficial del biosorbente versus la cantidad de biomasa.....	64
Figura N° 17: Punto de carga cero del Nostoc commune.....	64
Figura N° 18: Espectro FTIR de la biomasa de Nostoc commune antes del proceso adsorción de plomo.....	66
Figura N° 19: Espectro FTIR de la biomasa después de la adsorción del plomo. ....	67
Figura N° 20: Espectrograma EDS, de análisis de composición química del biosorbente Nostoc commune antes del contacto con plomo.....	69
Figura N° 21: Espectrograma EDS, de análisis de composición química del biosorbente Nostoc commune después del contacto con plomo.....	70
Figura N° 22: Influencia de la dosis de la biomasa en la biosorción de plomo, Ci:127,33, 214,12, 311,12 - v:300rpm - T:3h - pH:4.....	72
Figura N° 23: Influencia del pH en la adsorción del plomo, Dosis: 0,025 g – V: 25ml – T:3h – v:300rpm. ....	73
Figura N° 24: Diagrama de distribución de especies de plomo en solución acuosa. ....	74
Figura N° 25: Isotherma de adsorción a distintas concentraciones iniciales (79,61 mg/L,127,33 mg/L, 214,89 mg/L, 311,12 mg/L y 442,42 mg/L), V: 25ml – T:3h – pH:5,5 – Dosis:0.05g – v:300rpm. ....	76
Figura N° 26: Forma lineal de la ecuación de Langmuir.....	77
Figura N° 27: Ajuste de los datos experimentales mediante el modelo de Langmuir. ....	78

Figura N° 28: Isoterma del modelo de lineal de Freundlich. ....	79
Figura N° 29: Ajuste de los datos experimentales en el modelo de Freundlich. ....	80
Figura N° 30: Comparación de los modelos Langmuir, Freundlich y datos experimentales. ....	81
Figura N° 31: Estudio cinético del proceso de adsorción de plomo para una $C_i$ : 127,33 mg/L de Pb(II) – Dosis: 0,05 g – T: 3h – v: 300rpm – V: 25ml.....	83
Figura N° 32: Ecuación lineal del modelo de pseudo primer orden.....	84
Figura N° 33: Forma lineal de la ecuación de Pseudo segundo orden. ....	85
Figura N° 34: Modelo de Elovich en su forma lineal. ....	86
Figura N° 35: Correlación de los datos experimentales con el modelo de difusión intraparticular para la biosorción de plomo, empleando el <i>Nostoc commune</i> .....	87
Figura N° 36: Linealización de la segunda proporción de las curvas de la figura 26. ....	88
Figura N° 37: Comparación del ajuste de los modelos cinéticos con los datos experimentales. ....	89
Figura N° 38: Gráfica de Prueba de Normalidad – Anderson Darling (Minitab 18). ....	93
Figura N° 39: Efecto de las variables de biosorción de plomo. ....	94
Figura N° 40: Gráfico de efectos de Pareto. ....	95
Figura N° 41: Gráfico de efecto de las variables.....	96
Figura N° 42: Gráfico de cubo de la Capacidad de biosorción de Plomo ( $Q_e$ ). ....	97
Figura N° 43: Gráfica de contorno de $Q_e$ vs. Variables significativas. ....	98
Figura N° 44: Resultados Experimentales y teóricos de la capacidad de biosorción de plomo. ....	100

## RESUMEN

La alteración de los niveles naturales del agua, a través de la adición de metales pesados, es una problemática actual que requiere atención por parte de la sociedad. La presente investigación propone la biosorción como método para eliminar metales pesados del agua empleando biomasa. Para la biosorción, se requiere tratar la biomasa hasta tener un polvo seco y de un número de partículas adecuado; entonces, se le denomina "biosorbente", el cual se emplea para captar los iones metálicos descontaminando el agua a tratar, esto después de estar en contacto por un tiempo determinado en agitación constante a una misma velocidad. Se propone como biosorbente ecológico al *Nostoc commune* (NC), una cianobacteria verde azulada que es de fácil acceso, pues puede ser recolectada en humedales, lagunas y orillas de ríos. Se eligió al NC porque soporta el proceso de preparación de biosorbente sin desnaturalizarse; además, su pared celular está cubierta de exopolisacáridos, que son favorables para la adhesión de los iones metálicos como el  $Pb^{2+}$ . La presente tesis se basó en la remoción del plomo de soluciones acuosas con distintas concentraciones de plomo (127,33 mg  $Pb^{2+}/L$ , 214,89 mg  $Pb^{2+}/L$  y 311,12 mg  $Pb^{2+}/L$ ), distintos pH en la solución (2, 4 y 5,5) y distintas dosis de la biomasa (0,025 g, 0,05 g y 0,1 g); los factores experimentales constantes son la temperatura durante la adsorción (25°C), agitación a una velocidad constante (300 rpm), el tiempo de contacto (3 h), de esta forma se identificó la influencia de las variables en la biosorción del  $Pb^{2+}$ . Para comprender el método de la biosorción, se caracterizó la biomasa a través de un análisis de espectroscopia infrarrojo (FTIR), luego se realizó un análisis de composición química (EDS). Finalmente, se concluyó que la variable pH genera una influencia más significativa sobre la capacidad de biosorción ( $Q_e$ ), identificando una alta capacidad de biosorción (247,35 mg/g) a un pH de 5,5; los datos en el equilibrio se adecuaron mejor al modelo de Langmuir ( $R^2 = 0,9925$ ), esto significa que la biosorción se dio en monocapa, se obtuvo una capacidad máxima de biosorción ( $q_{max}$ ) de 196,078 mg/g. Los resultados experimentales del estudio cinético se moldearon mejor al modelo de pseudo segundo orden ( $R^2=1$ ), lo cual indica que el proceso de biosorción sería por quimiosorción.

**Palabras claves:** Biosorción, cianobacteria, plomo, biomasa



## ABSTRACT

The alteration of natural water levels through the addition of heavy metals is a current problem that requires attention from society, the present research proposes biosorption as a method to remove heavy metals from water, using biomass. For biosorption it is required to treat the biomass until it has a dry powder and a suitable particle number, then it is called "biosorbent", which is used to capture metal ions by decontaminating the water to be treated, this after being in contact for a specified time in constant stirring at the same speed. *Nostoc commune* (NC) is proposed as an ecological biosorbent, a bluish-green cyanobacterium that is easily accessible, as it can be collected in wetlands, lagoons and river banks, the NC was chosen because it supports the biosorbent preparation process without being denatured, in addition, its cell wall is covered with exopolysaccharides, which is favorable for the adhesion of metal ions such as  $Pb^{2+}$ . The present thesis was based on the removal of lead from aqueous solutions with different concentrations of lead (127.33 mg  $Pb^{2+}$  / L, 214.89 mg  $Pb^{2+}$  / L and 311.12 mg  $Pb^{2+}$  / L), different pH in the solution ( 2, 4 and 5.5) and different doses of biomass (0.025 g, 0.05 g and 0.1 g), the constant experimental factors are the temperature during the adsorption (25 ° C), stirring at a constant speed ( 300 rpm), the contact time (3 h), in this way the influence of the variables on the biosorption of  $Pb^{2+}$  was identified. To understand the biosorption method, the biomass was characterized through an infrared spectroscopy analysis (FTIR), then a chemical composition analysis (EDS) was performed. Finally, it is concluded that the pH variable generates a more significant influence on the biosorption capacity ( $Q_e$ ), identifying a high biosorption capacity (247.35 mg / g) at a pH of 5.5; the equilibrium data were better suited to the Langmuir model ( $R^2 = 0.9925$ ), this means that the biosorption occurred in a monolayer, a maximum biosorption capacity ( $q_{max}$ ) of 196.078 mg / g was obtained. The experimental results of the kinetic study were better molded to the pseudo second order model ( $R^2 = 1$ ), which indicates that the biosorption process would be by chemisorption.

**Key words:** Biosorption, cyanobacterium, lead, biomass