



ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE



TESIS

---

---

**“EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL BIOCHAR DE LA PLANTA  
PIROLIZADORA DE RESIDUOS ORGANICOS DE MACHUPICCHU PARA TRATAMIENTO DE  
EFLUENTES CON METALES PESADOS”**

---

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE DOCTOR EN  
MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Presentado por:

Mg. Karen Melissa Garcés Porras

<https://orcid.org/0000-0003-1694-3794>

ASESOR:

Dra. Veronika Isela Vera Marmanillo

<https://orcid.org/0000-0002-2777-2874>

CUSCO – PERÚ

2024



Metadatos

Datos del autor	
Nombres y apellidos	Karen Melissa Garces Porras
Número de documento de identidad	47025143
URL de Orcid	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1694-3794">https://orcid.org/0000-0003-1694-3794</a>
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	Veronika Isela Vera Marmanillo
Número de documento de identidad	40300765
URL de Orcid	<a href="https://orcid.org/0000-0002-2777-2874">https://orcid.org/0000-0002-2777-2874</a>
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	Victor Chacón Sánchez
Número de documento de identidad	23807993
Jurado 2	
Nombres y apellidos	Shaili Julie Caveró Pacheco
Número de documento de identidad	23979449
Jurado 3	
Nombres y apellidos	Felio Calderón La Torre
Número de documento de identidad	25310696
Jurado 4	
Nombres y apellidos	Violeta Eugenia Zamalloa Acurio
Número de documento de identidad	23804669
Datos de la Investigación	
Línea de investigación	Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible



# EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL BIOCHAR DE LA PLANTA PIROLIZADORA DE RESIDUOS ORGANICOS DE MACHUPICCHU PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES CON METALES PESADOS

*by* Karen Melissa Garces Porras

**Submission date:** 20-Mar-2024 10:19AM (UTC-0500)

**Submission ID:** 2325826929

**File name:** TESIS\_FINAL\_BIOCHAR\_V7\_1.pdf (4.23M)

**Word count:** 35167

**Character count:** 192279



Verónica Isela Vera Mamani  
Bióloga  
CBP. 12083



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE



TESIS

---

“EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL BIOCHAR DE LA PLANTA  
PIROLIZADORA DE RESIDUOS ORGANICOS DE MACHUPICCHU PARA TRATAMIENTO DE  
EFLUENTES CON METALES PESADOS”

---

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE DOCTOR EN  
MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Presentado por:

<sup>14</sup>  
Mg. Karen Melissa Garcés Porras

<https://orcid.org/0000-0003-1694-3794>

ASESOR:

<sup>14</sup> Dra. Veronika Isela Vera Marmanillo

<https://orcid.org/0000-0002-2777-2874>

CUSCO – PERÚ

2024

Veronika Isela Vera Marmanillo  
Bióloga  
CBP. 12063



# BIOCHAR DE LA PLANTA PIROLIZADORA DE RESIDUOS ORGANICOS DE MACHUPICCHU PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES CON METALES PESADOS

## ORIGINALITY REPORT

18%

SIMILARITY INDEX

20%

INTERNET SOURCES

8%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	4%
2	<a href="http://repositorio.uptc.edu.co">repositorio.uptc.edu.co</a> Internet Source	1%
3	<a href="http://repositorio.unajma.edu.pe">repositorio.unajma.edu.pe</a> Internet Source	1%
4	<a href="http://revistas.uis.edu.co">revistas.uis.edu.co</a> Internet Source	1%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Student Paper	1%
6	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://udca.edu.co">udca.edu.co</a> Internet Source	1%
8	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Internet Source	1%



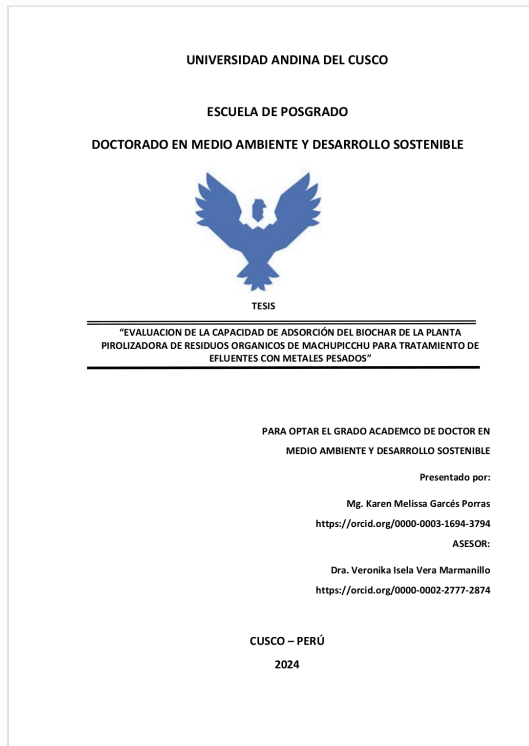


## Digital Receipt

This receipt acknowledges that **Turnitin** received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Karen Melissa Garcés Porras  
Assignment title: TESIS DOCTORADO  
Submission title: EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL BIOCHAR...  
File name: TESIS\_FINAL\_BIOCHAR\_V7\_1.pdf  
File size: 4.23M  
Page count: 137  
Word count: 35,183  
Character count: 192,187  
Submission date: 20-Mar-2024 09:44AM (UTC-0500)  
Submission ID: 2325798460





## RESUMEN

La contaminación por metales pesados es uno de los problemas ambiental más críticos, perjudica a la salud humana y a los ecosistemas; por otro lado, la adsorción es un proceso económico y práctico que se ha convertido en uno de los tratamientos más usados para la eliminación de metales pesados. El objetivo principal del presente trabajo fue evaluar la capacidad de adsorción del biochar producido en la planta pirolizadora de residuos orgánicos de Machupicchu en el tratamiento de efluentes con metales pesados. Se determino las características físicas y químicas del biochar mediante FTIR, SEM, BET, ICP-MS y TGA. Se realizaron pruebas de adsorción para  $Pb^{+2}$  y  $Cu^{+2}$  a diferentes niveles de pH de las soluciones acuosas, se evaluó la influencia de la dosis del adsorbente, tiempo de contacto y velocidad de agitación en la capacidad de adsorción de  $Pb^{+2}$  y  $Cu^{+2}$ , para ambos metales de acuerdo al análisis de varianza todos los factores evaluados presentan significancia referente a la capacidad de adsorción, de la optimización de los factores para lograr una mayor capacidad de adsorción se tiene 1.5 g/L de dosis de biochar, 40 min de tiempo de contacto y una velocidad de agitación de 100 rpm. Comparativamente, la capacidad máxima de adsorción del Pb fue mayor ( $52.28 \pm 6.2$  mg/g) que la presentada por el Cu ( $43.73 \pm 0.30$  mg/g). La cinética de adsorción sigue un modelo cinético de pseudo segundo orden para ambos metales con coeficientes de regresión lineal de ajuste del modelo  $R^2$  de 0.99. Para los iones de  $Pb^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Ni^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Co^{+2}$  y  $Mn^{+2}$ , presentes en una muestra acida de un efluente de actividades mineras, se alcanzaron porcentajes de remoción superiores al 99%.

**Palabras clave:** Metales pesados, biochar, tratamiento de efluentes, adsorción



## ABSTRACT

Pollution by heavy metals is one of the critical environmental problems, it harms human health and ecosystems; On the other hand, adsorption is an economical and practical process that has become one of the most used treatments for the elimination of heavy metals. The main objective of this work was to evaluate the adsorption capacity of biochar produced in the organic waste pyrolyzing plant of Machupicchu in the treatment of effluents with heavy metals. The physical and chemical characteristics of the biochar were determined using FTIR, SEM, BET, ICP-MS and TGA. Adsorption tests were carried out for  $\text{Pb}^{+2}$  and  $\text{Cu}^{+2}$  at different pH levels of the aqueous solutions, the influence of the adsorbent dose, contact time and stirring speed on the adsorption capacity of  $\text{Pb}^{+2}$  and  $\text{Cu}^{+2}$ , for both metals, according to the analysis of variance, all the factors evaluated show significance regarding the adsorption capacity, from the optimization of the factors to achieve a greater adsorption capacity, we have 1.5 g/L of biochar dose, 40 min contact time and a stirring speed of 100 rpm. Comparatively, the maximum adsorption capacity of Pb was higher ( $52.28 \pm 6.2$  mg/g) than that presented by Cu ( $43.73 \pm 0.30$  mg/g). The adsorption kinetics follow a pseudo-second-order kinetic model for both metals with linear regression coefficients of model fitting  $R^2$  of 0.99. For the ions of  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$  and  $\text{Mn}^{+2}$ , present in an acid sample of an effluent from mining activities, higher removal percentages were achieved at 99%.

**Keywords:** *Heavy metals, biochar, effluent treatment, adsorption.*





## RESUMIO

A poluição por metais pesados é um dos problemas ambientais críticos, pois prejudica a saúde humana e os ecossistemas; por outro lado, a adsorção é um processo econômico e prático que se tornou um dos tratamentos mais utilizados para eliminação de metais pesados. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção do biocarvão produzido na planta de pirólise de resíduos orgânicos de Machupicchu no tratamento de efluentes com metais pesados. As características físicas e químicas do biocarvão foram determinadas por FTIR, SEM, BET, ICP-MS e TGA. Foram realizados testes de adsorção para  $Pb^{+2}$  e  $Cu^{+2}$  em diferentes níveis de pH das soluções aquosas, a influência da dose do adsorvente, tempo de contato e velocidade de agitação na capacidade de adsorção de  $Pb^{+2}$  e  $Cu^{+2}$ , para ambos os metais. , de acordo com a análise de variância, todos os fatores avaliados apresentam significância quanto à capacidade de adsorção, a partir da otimização dos fatores para alcançar uma maior capacidade de adsorção, temos 1,5 g/L de dose de biochar, tempo de contato de 40 min e velocidade de agitação de 100rpm. Comparativamente, a capacidade máxima de adsorção do Pb foi superior ( $52,28 \pm 6,2$  mg/g) à apresentada pelo Cu ( $43,73 \pm 0,30$  mg/g). A cinética de adsorção segue um modelo cinético de pseudo-segunda ordem para ambos os metais com coeficientes de regressão linear de ajuste do modelo  $R^2$  de 0,99. Para os íons  $Pb^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Ni^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Co^{+2}$  e  $Mn^{+2}$ , presentes em uma amostra ácida de um efluente de mineração, foram alcançados maiores percentuais de remoção até 99%.

**Palavras-chave:** Metais pesados, biocarvão, tratamento de efluentes, adsorção