

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y**  
**MEDIO AMBIENTE**



**Utilización del biocarbón modificado con bacterias para la remoción  
de plomo ( $Pb^{+2}$ ) en soluciones acuosas**

TESIS para optar el Título profesional de Ingeniero Forestal y Medio  
Ambiente

**Autor:**

Joaquin Augusto Olarte Vargas

**Tumbes – 2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y**  
**MEDIO AMBIENTE**



**Utilización del biocarbón modificado con bacterias para la remoción  
de plomo ( $Pb^{2+}$ ) en soluciones acuosas**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Gerardo Juan F. Cruz cerro (Presidente)

Dr. Eber L. Herrera Palacios (Secretario)

Mg. José Antonio Silva Chávez (Vocal)

**Tumbes - 2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y**  
**MEDIO AMBIENTE**



**Utilización del biocarbón modificado con bacterias para la remoción de plomo ( $Pb^{2+}$ ) en soluciones acuosas**

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma:

Bach. Joaquin Olarte Vargas (Autor)

M.Sc. John Rimaycuna Ramirez (Asesor)

Dra. Rosa Liliana Solís Castro (Coasesor)

**Tumbes- 2026**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO  
SECRETARIA ACADÉMICA



“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los dieciséis días del mes de abril de dos mil veintiséis, siendo las .....10..... horas, con .....30..... minutos ( ), de la ...mañana..., de forma presencial en el aula 1, en las instalaciones de la escuela de posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 115-2022/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro** (Presidente), **Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios** (Secretario), **Mg. José Antonio Silva Chávez** (Vocal) reconociendo en la misma resolución además, al **Mg. John Henry Rimaycuna Ramírez**, como **Asesor** y a la **Dr. Rosa Liliana Solís Castro**, como **Co-asesora**, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, “**Utilización del biocarbón modificado con bacterias para la remoción de plomo (Pb) en soluciones acuosas**”, para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, presentado por el **Bach. Joaquin Augusto Olarte Vargas**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. JOAQUIN AUGUSTO OLARTE VARGAS;** Aprobado, por unanimidad, con el calificativo Muy Buena.

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica,

En consecuencia, queda expedito para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las .....Dose..... horas y .....tres..... minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, .....16 de abril 2026.....

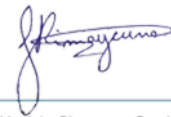
 <b>Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro</b> DNI N° 80661595 CODIGO ORCID 0000-0001-6096-0183 Presidente	 <b>Dr. Eber Leopoldo Herrera Palacios</b> DNI N° 42450218 CODIGO ORCID 0000-0002-7255-9087 Secretario
 <b>Mg. José Antonio Silva Chávez</b> DNI N° 41013171 CODIGO ORCID 0000-0001-5763-407X Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)  
S. académica.

# INFORME DE TURNITIN

## Informe de tesis Joaquín Olarte

*por* Joaquín Olarte Vargas



Mg. John Rimaycuna Ramirez  
Orcid: 0000-0002-2767-9733

---

**Fecha de entrega:** 05-jun-2026 06:06p. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2977221064

**Nombre del archivo:** INFORME-OLARTE.pdf (2.72M)

**Total de palabras:** 13720

**Total de caracteres:** 68836

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

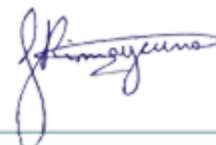
PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.untumbes.edu.pe">repositorio.untumbes.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	Gonzaga, A., Rimaycuna, J., Cruz, G. J. F., Herrera, Eber L., Gómez, M. M., Solis, J. L., Cruz, J. F., Keiski, R. L.. "Remoción de plomo presente en soluciones acuosas utilizando biocarbón producido a base de coronta de maíz", Manglar, 2021 Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<1%
6	<a href="https://m.moam.info">m.moam.info</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://aprenderly.com">aprenderly.com</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://ruidera.uclm.es">ruidera.uclm.es</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://www.ijrce.org">www.ijrce.org</a> Fuente de Internet	<1%



Mg. John Rimaycuna Ramirez  
Orcid: 0000-0002-2767-9733

10	<b>doczz.es</b> Fuente de Internet	<1 %
11	<b>slideplayer.es</b> Fuente de Internet	<1 %
12	Takahiro TSUCHIDA, Yuta BABA, Koji KIMURA. "Reliability analysis of linear systems subjected to non-Gaussian random excitation using the equivalent non-Gaussian excitation method and the Hermite moment model", The Proceedings of the Dynamics & Design Conference, 2016 Publicación	<1 %
13	<b>revista.jdc.edu.co</b> Fuente de Internet	<1 %
14	<b>revistadeinvestigacion.uwiener.edu.pe</b> Fuente de Internet	<1 %
15	<b>dspace.ucuenca.edu.ec</b> Fuente de Internet	<1 %

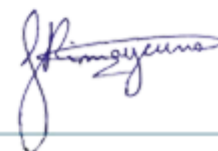
Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Apagado



Mg. John Rimaycuna Ramirez  
Orcid: 0000-0002-2767-9733

## DEDICATORIA

La presente investigación es dedicada de manera especial: A mis padres, Rafael y Verónica por todo su apoyo, paciencia, y consejos a lo largo de mi formación académica, quienes desde pequeño me inculcaron valores, principios, empeño y perseverancia para conseguir mis sueños. Por ser fuente de inspiración, por su sacrificio y esfuerzo para poder superarme y realizarme profesionalmente y que esta meta se haga realidad.

De igual manera les dedico el presente trabajo a mis padrinos Demetrio e Himelda por sus oraciones y consejos durante mi vida.

A todas las personas, compañeros y docentes de diferentes universidades que gracias a esta investigación llegué a conocer y que me animaban a seguir continuando en la culminación de este proyecto

***Joaquin Augusto***

## AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminarme, darme voluntad y fortaleza sobre todo la vida para seguir adelante en este proceso de realización personal.

Mi sincero agradecimiento a mi asesor Msc. John Rimaycuna Ramirez por sus orientaciones y conocimiento brindado durante el desarrollo de la tesis.

Así mismo mi sincero agradecimiento a mi Co-asesora la Dra. Rosa Liliana Solís Castro por su apoyo, su conocimiento y paciencia en el desarrollo de este proyecto.

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente por sus enseñanzas y conocimiento a lo largo de estos años de formación académica

A los Ingenieros, Técnicos, Biólogos y Doctores de la UNT, UPAO y UNSA quienes me apoyaron con el desarrollo del proyecto.

Al instituto de investigación por el financiamiento otorgado para a ejecución de la presente tesis, en el marco del concurso de finamieto de tesis, siendo declarado ganador mediante Resolución N° **0638-2023/UNTUMBES-R** y con presupuesto aprobado mediante Resolución N° **0289-2024/UNTUMBES-R.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN.....	17
II	REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
2.1	Tipos de Biocarbón .....	23
2.2	Los metales pesados .....	26
2.3	Los microorganismos .....	27
2.4	Bacterias .....	29
III	MATERIALES Y METODOS .....	32
3.1	Tipo de investigación: .....	32
3.2	Recolección de muestras .....	32
3.3	Producción de biocarbón.....	33
3.4	Caracterización de materiales adsorbentes .....	33
3.4.1	Análisis próximo .....	33
3.4.2	Estructura Química.....	34
3.4.3	Morfología del biocarbón .....	35
3.5	Pruebas de adsorción usando la técnica de bach .....	35
3.6	Caracterización de Cepa Bacteriana .....	36
3.6.1	Lugar y Recolección de muestras .....	36
3.6.2	Siembra y Aislamiento de la Bacteria (Dalia Kamal Rawy & Kamal Hemida, 2020) .....	36
3.6.3	Identificación de Bioquímica (Dalia Kamal Rawy & Kamal Hemida, 2020) .....	36
3.6.4	Selección de Bacterias Tolerantes a Pb <sup>2+</sup> .....	37
3.7	Prueba de Cinética bacteriana: .....	38
3.8	Soporte de bacteria sobre biocarbón .....	39
3.9	Evaluación experimental .....	40
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
4.1	Rendimiento y producción.....	41
4.2	Análisis Próximos .....	44
4.2.1	Contenido de humedad.....	44
4.2.2	Contenido de Ceniza.....	45
4.3	Estructura química.....	46
4.3.1	pH Carga Cero.....	46
4.3.2	Espectrofotometría Infrarrojo FTIR .....	48
4.4	Morfología del Biocarbón .....	50

4.5	Resultados Pruebas de Cinética .....	53
4.6	Resultados de Caracterización bacteriana .....	56
4.6.1	Recolección de muestras de agua residual .....	56
4.6.2	Pruebas bioquímicas: .....	59
4.6.3	Resultados de selección de bacterias tolerantes a Pb <sup>2+</sup> .....	61
4.6.4	Resultado de la secuenciación bacteriana .....	62
4.6.5	Resultados de Pruebas de Cinética Prolongada.....	63
4.7	Resultados de inmovilización de <i>Klebsiella p.</i> sobre biocarbón .....	65
4.8	Pruebas de cinética con biocarbón bioactivado <i>Klebsiella p.</i> .....	68
4.9	Ajuste de modelo de difusión intraparticula lineal .....	74
4.10	Influencia del pH en la Adsorción .....	78
V	CONCLUSIONES.....	80
VI	RECOMENDACIONES.....	81
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	83
VIII	ANEXOS.....	89

## ÍNDICE DE FIGURA

		Pág.
<b>Figura 1:</b>	Contenido de Humedad de las muestras de los tres tipos de biocarbón.....	44
<b>Figura 2:</b>	Contenido de Ceniza de las muestras de los tres tipos de biocarbón.....	45
<b>Figura 3:</b>	pH de carga cero del biocarbón de C.C, R.B y C.M siguiendo el método pH drift.....	47
<b>Figura 4:</b>	Espectro de los biocarbones C.C, C.M y R.B obtenidos por FTIR en la región 4000 – 400 cm <sup>-1</sup> .....	49
<b>Figura 5</b>	Micrográficas SEM de los tres tipos de biocarbón.....	51
<b>Figura 6:</b>	Cinética para los tres tipos de biocarbón sin Biomodificación.....	53
<b>Figura 7:</b>	Pruebas bioquímicas utilizadas en la identificación de enterobacterias.....	59
<b>Figura 8:</b>	Pruebas bioquímicas características de <i>K. pneumoniae</i> .....	60
<b>Figura 9:</b>	Tolerancia de las cepas a concentraciones de Pb <sup>2+</sup> .....	61
<b>Figura 10:</b>	Cinética bacteriana klebsiella p. a OD 600 nm 0,3 - 0,5.....	63
<b>Figura 11</b>	Crecimiento de colonias de <i>Klebsiella p.</i> en agar sangre y caldo 37°C.....	65
<b>Figura 12</b>	Crecimiento de colonias de <i>Klebsiella p.</i> en agar sangre y caldo 8°C.....	66
<b>Figura 13</b>	Micrografía SEM, adhesión de <i>klebsiella p.</i> sobre biocarbón.....	67
<b>Figura 14:</b>	Cinética para los tres biocarbones Biomodificados con <i>klebsiella p.</i> .....	68
<b>Figura 15:</b>	Ajuste de Modelos de Elovich.....	71
<b>Figura 16:</b>	Modelo de Difusión Intraparticular, no lineal biocarbones - biomodificados, Fase Inicial, Fase de transición y Fase de equilibrio.....	72
<b>Figura 17</b>	Modelo de Difusión Intrapartícula de Lineal.....	74
<b>Figura 18:</b>	Influencia del pH en la remoción de Pb, a) pH ácido, b) pH ligeramente básico, c) pH 4.5 Biocarbón sin modificación d) Biocarbón biomodificado...	78

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
<b>Tabla 1:</b>	Rendimiento del biocarbón de Raquis de banano.....	42
<b>Tabla 2:</b>	Rendimiento del biocarbón de Cascara de Cacao.....	42
<b>Tabla 3:</b>	Rendimiento del biocarbón de Coronta de maíz .....	43
<b>Tabla 4:</b>	Área superficial de materiales adsorbentes.....	50
<b>Tabla 5:</b>	Parámetros obtenidos de los diferentes modelos no lineales de cinética de adsorción de $Pb^{2+}$ .....	55
<b>Tabla 6:</b>	Muestreo Lunes, aislamiento y selección de cepas con características fenotípicas compatibles con bacterias del género Klebsiella.....	57
<b>Tabla 7:</b>	Muestreo Miércoles, aislamiento y selección de cepas con características fenotípicas compatibles con bacterias del género Klebsiella.....	57
<b>Tabla 8:</b>	Muestreo Lunes, aislamiento y selección de cepas con características fenotípicas compatibles con bacterias del género Klebsiella.....	58
<b>Tabla 9:</b>	Pruebas bioquímicas para identificar cepas del género Klebsiella.....	60
<b>Tabla 10:</b>	Resultados de la identificación de cepas del género Klebsiella.....	62
<b>Tabla 11:</b>	Ajuste de Modelos no lineales para Cinética Bacteriana Klebsiella p.....	64
<b>Tabla 12:</b>	Parámetros obtenidos de los diferentes modelos no lineales de cinética de adsorción de $Pb^{2+}$ . en biochar Biomodificados.....	70
<b>Tabla 13:</b>	Parámetros obtenidos de los diferentes modelos lineales de cinética de adsorción de $Pb^{2+}$ en biochar Biomodificados.....	75

## TABLAS DE ANEXO

		Pág.
<b>Anexo 1:</b>	Mapa de localización N° 1 de Puntos de muestreo.....	89
<b>Anexo 2:</b>	Mapa de localización N° 2 de Puntos de muestreo.....	89
<b>Anexo 3:</b>	Recolección de biomasa residual agrícola, a) Raquis de Banano b) Cascara de Cacao y c) Coronta de maíz.....	90
<b>Anexo 4:</b>	Limpieza y secado de biomasa residual agricola.....	90
<b>Anexo 5:</b>	Molienda y tamizado de biomasa residual agricola .....	90
<b>Anexo 6:</b>	Producción de biocarbones de Cascara de Cacao, Raquis de Banano y Coronta de Maíz en Reactor adaptado a un horno tubular en ausencia de O2.....	91
<b>Anexo 7:</b>	Caracterización de materiales absorbentes, a) %Humedad, b) % Ceniza, c) FTIR, d) BET, e) pH <sub>pzc</sub> , f) Materiales almacenados para experimentos posteriores.....	91
<b>Anexo 8:</b>	a) Recoleccion de muestras de agua residual, b) Siembra de cepas, c) Aislamiento cepas, d) Pruebas bioquimicas.....	92
<b>Anexo 9:</b>	Soporte de Klebsiella p. sobre Biochar de C.C, R.B y C.M biochar para bioactivación con <i>Klebsiella p.</i> .....	93
<b>Anexo10:</b>	Pruebas experimentales de cinética para biocarbón-bioactivado.....	93

## RESUMEN

El río Tumbes es uno de los principales recursos hídricos para la producción de agua potable y el riego de extensas áreas agrícolas; sin embargo, el vertimiento constante de aguas residuales sin tratamiento, procedente de diferentes actividades antrópicas puntuales, ha generado un aumento en la concentración de metales pesados, entre ellos el plomo ( $Pb^{+2}$ ). El objetivo de este estudio fue mejorar el biocarbón, elaborado a partir de biomasa residual agrícola, mediante su biomodificación con bacterias tolerantes al plomo ( $Pb^{+2}$ ), para la remoción de dicho metal en soluciones acuosas. La biomasa utilizada es Cascara de cacao, Raquis de banano y Coronta de maíz. Se aislaron e identificaron bacterias de muestras de aguas residuales en diferentes intervalos de tiempos. Se prepararon soluciones acuosas a concentraciones de 30 mgPb/l. Se realizaron pruebas de tolerancias y ensayos cinéticos. Para la caracterización de los materiales adsorbentes se emplearon técnicas, métodos y equipos AAS, SEM, BET, FTIR, así como análisis próximos, químicos y morfológicos.

La identificación y las pruebas de tolerancia demostraron que la bacteria *klebsiella p.* toleró concentraciones de hasta 70 mgPb<sup>+2</sup>/l. Asimismo, la biomodificación de los tres materiales con *klebsiella p.* evidenció mejoras en la remoción de Plomo ( $Pb^{+2}$ ) destacando el biocarbón de Coronta de maíz. El Biocarbón de Coronta de maíz con una dosis de 0,2 g inicialmente presentó una capacidad de remoción despreciable de 11,45 mgPb<sup>+2</sup>/g, tras la biomodificación obtuvo valores de remoción significativos de 24,40 mgPb<sup>+2</sup>/g. Por su parte los biocarbón de Raquis de banano y Cascara de cacao biomodificados, mostraron una remoción total al final del experimento de 30mgPb<sup>+2</sup>/g. La biomodificación del biocarbón no solo redujo la concentración de plomo ( $Pb^{+2}$ ), sino que permitió que el material que inicialmente tuvo una baja remoción se convierta en un material más competitivo con otros materiales adsorbentes

**Palabras Clave:** Biocarbón, bacterias, klebsiella, cinética, adsorción, metales pesados.

## ABSTRACT

The Tumbes River is one of the main water resources for drinking water production and irrigation of extensive agricultural areas. However, the constant discharge of untreated wastewater from various specific human activities has led to an increase in the concentration of heavy metals, including lead ( $Pb^{2+}$ ). The objective of this study was to improve biochar, produced from agricultural waste biomass, by biomodifying it with lead-tolerant bacteria ( $Pb^{2+}$ ) to remove this metal from aqueous solutions. The biomass used consisted of cocoa husks, banana rachis, and corn cobs. Bacteria were isolated and identified from wastewater samples collected at different time intervals. Aqueous solutions were prepared at concentrations of  $30\text{ mgPb}^{2+}/\text{L}$ . Tolerance tests and kinetic assays were performed. For the characterization of the adsorbent materials, AAS, SEM, BET, and FTIR techniques, methods, and equipment were used, along with subsequent chemical and morphological analyses.

Identification and compatibility tests demonstrated that the bacterium *Klebsiella p.* tolerated concentrations of up to  $70\text{ mgPb}^{2+}/\text{L}$ . Furthermore, the biomodification of the three materials with *Klebsiella p.* showed improvements in lead ( $Pb^{2+}$ ) removal, with corn cob biochar being particularly noteworthy. Corn cob biochar, initially at a dose of  $0.2\text{ g}$ , exhibited a negligible removal capacity of  $11.45\text{ mgPb}^{2+}/\text{g}$ ; after biomodification, it achieved significant removal values of  $24.40\text{ mgPb}^{2+}/\text{g}$ . Meanwhile, the bio-modified banana rachis and cocoa husk biochar showed a total removal of  $30\text{ mgPb}^{2+}/\text{g}$  at the end of the experiment. The bio-modification of the biochar not only reduced the lead ( $Pb^{2+}$ ) concentration, but also allowed the material, which initially had low removal, to become more competitive with other adsorbent materials.

**Keywords:** Biochar, bacteria, klebsiella, kinetics, adsorption, heavy metal