

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS
POR PLOMO (Pb) MEDIANTE *Bacillus subtilis*, EN
EL RÍO MOCHE, TRUJILLO - 2024

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Dayana Ysell Rodriguez Echeverria

Lenin Villanueva Paredes

Asesor:

Mg. Ing. Kelly Milena Polo Herrera

<https://orcid.org/0000-0002-4833-2157>

Trujillo - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Betty Karina Guzman Valqui
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Jairo Pinedo Taquia
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Kelly Milena Polo Herrera
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 77 - Descripción general de Integridad

Identificador de la entrega tmcoid=1:3134840129


14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...


Exclusiones

▸ N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

13%  Fuentes de Internet

6%  Publicaciones

7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Tabla de contenidos

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDOS	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	11
1.2. MARCO TEÓRICO.....	12
1.3. ANTECEDENTES	14
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.5. HIPÓTESIS.....	20
1.6. OBJETIVOS.....	21
1.6.1. Objetivo General:.....	21
1.6.2. Objetivos Específicos:.....	21
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	22
2.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	23
2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....	23
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y	
CONFIABILIDAD.....	25
2.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	26
2.5.1. Cultivo de la bacteria <i>Bacillus subtilis</i>:	27
2.5.2. Secado de la biomasa:	27

2.5.3. <i>Recolección de la muestra en campo:</i>	27
2.5.4. <i>Tratamiento del agua del río Moche:</i>	28
2.5.5. <i>Análisis de agua por Absorción Atómica con llama (AAS):</i>	29
2.6. ANÁLISIS DE DATOS	31
2.6.1. <i>Prueba de normalidad:</i>	31
2.6.2. <i>Prueba de homogeneidad de varianzas:</i>	32
2.6.3. <i>Análisis ANOVA</i>	32
2.6.4. <i>Comparaciones múltiples (HSD de Tukey)</i>	32
2.7. ASPECTOS ÉTICOS	32
CAPÍTULO III: RESULTADOS	34
3.1. CUANTIFICAR LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE PLOMO (PB) EN MUESTRAS DE AGUA RECOLECTADAS DE UN PUNTO ESPECÍFICO DEL RÍO MOCHE	34
3.1.1. <i>Evaluación de la muestra inicial</i>	34
3.2. EVALUAR LA EFICIENCIA DE <i>B. SUBTILIS</i> EN LA REMOCIÓN DE PLOMO (PB) EN CONDICIONES DE LABORATORIO	35
3.2.1. <i>Análisis final de los tratamientos</i>	35
3.2.2. <i>Análisis estadístico:</i>	37
3.3. COMPARAR LOS NIVELES DE PLOMO (PB) ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON <i>B. SUBTILIS</i> , VERIFICANDO EL CUMPLIMIENTO DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) ESTABLECIDOS EN EL D.S. N° 004-2017-MINAM.....	41
3.3.1. <i>Comparación de concentración final de plomo con el ECA para agua categoría 3.</i> 41	
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	43
4.1. DISCUSIÓN	43
4.2. CONCLUSIONES.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS.....	53

Índice de tablas

Tabla 1	34
Tabla 2	35
Tabla 3	38
Tabla 4	39
Tabla 5	40
Tabla 6	40
Tabla 7	53

Índice de figuras

Figura 1	24
Figura 2	25
Figura 3	26
Figura 4	29
Figura 5	31
Figura 6	37
Figura 7	41
Figura 8	54
Figura 9	55
Figura 10	56
Figura 11	57
Figura 12	58
Figura 13	59
Figura 14	60
Figura 15	61
Figura 16	62
Figura 17	63
Figura 18	64
Figura 19	65
Figura 20	66

RESUMEN

La contaminación del agua por plomo (Pb) es una problemática que requiere atención debido a su gran impacto negativo en la biodiversidad y salud humana. Por ello, el objetivo principal fue evaluar la eficacia del uso de *Bacillus subtilis* en la biorremediación de Pb en las aguas contaminadas del río Moche. Para ello, se recolectó una muestra de un punto específico de la cuenca, la cual muestras fue distribuida en 3 repeticiones de 4 tratamientos cada uno, utilizando biomasa de *B. subtilis* bajo sus condiciones. Los resultados fueron favorables, evidenciando una reducción significativa de plomo en todas las repeticiones. La concentración inicial de 0.4216 mg/L disminuyó considerablemente, alcanzando valores finales entre 0.1315 y 0.1768 mg/L.

Por otro lado, al comparar con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Agua Categoría 3: “riego vegetal y bebida animal”, se observó que las concentraciones de plomo superaban el valor límite establecido de 0.05 mg/L, evidenciando que el agua no es apta para la agricultura ni ganadería. Finalmente, los resultados respaldan la eficiencia de *B. subtilis* en la biorremediación de Pb en aguas contaminadas del río Moche.

PALABRAS CLAVES: *Bacillus subtilis*, Pb, biorremediación, aguas contaminadas, metales pesados, bacteria.

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto** por determinación de los propios autores, en concordancia con en el Texto Integrado del Reglamento RENATI (artículo 12), la Directiva N°048-2020-CONCYTEC-P que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto (ALICIA) administrado por el pliego Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - CONCYTEC y la Ley N° 29733, Ley de Protección de Datos Personales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akinpelu, E. A., Ntwampe, S. K. O., Fosso-Kankeu, E., Nchu, F., & Angadam, J. O. (2021). Performance of Microbial Community Dominated by *Bacillus* Spp. In Acid Mine Drainage Remediation Systems: A Focus on the High Removal Efficiency of SO_4^{2-} , Al^{3+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , and Sr^{2+} . *Heliyon*, 7(6), e07241. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07241>
- Alfaro, F. (2024, October 12). La Libertad: Río Moche es un "cadáver" por su alto nivel de contaminación. *Correo*. <https://diariocorreo.pe/edicion/la-libertad/rio-moche-es-un-cadaver-por-su-alto-nivel-de-contaminacion-la-libertad-peru-noticia/>
- Avalos Ramírez, Y. J. (2023). Contaminación Por Plomo En Suelo, Agua, Alimentos Y Sus Efectos En Los Seres Humanos. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.006>
- Baquerizo, M., Acuña, M., & Solis-Castro, M. (2019). Contaminación De Los Ríos: Caso Río Guayas Y Sus Afluentes. *Manglar*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.17268/manglar.2019.009>
- Castañeda, K. R. zavaleta, & Grandez, W. I. Z. (2020). Remoción De Plomo Empleando Biomasa De *Bacillus Subtilis* En Aguas Contaminadas De La Quebrada Llaca Puquio, Quiruvilca-2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50070>
- Cerna, C., Espinoza, F., & Chunga, G. (2019). Contaminación Del Río Moche Y Su Impacto En La Abiota Y Las Enfermedades. *Agroindustrial Science*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2019.01.03>

- Chavez Apare, C. L. (2019). Tratamiento de las aguas contaminadas por Cadmio y Plomo utilizando microorganismos (*Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp) en un biorreactor, Río Chili Arequipa – 2019. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/70761>
- Geldres, M. E. V. (2023). Efecto de biomasa microbiana y fotocatalisis en la remoción de cromo VI en aguas residuales de curtiembre. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/17610>
- GOB.PE. (2023, October 3). ¿Qué Son Los Metales Pesados? <https://www.gob.pe/47991-que-son-los-metales-pesados>
- Heidari, P., & Panico, A. (2020). Sorption Mechanism and Optimization Study for the Bioremediation of Pb(II) and Cd(II) Contamination by Two Novel Isolated Strains Q3 and Q5 of *Bacillus* sp. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4059. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114059>
- Heikkinen, A. (2022, January 20). El Impacto De La Minería En Las Aguas Altoandinas. Ojo Público. <https://ojo-publico.com/3278/el-impacto-la-mineria-las-aguas-altoandinas>
- Idrees, M., Ali, S., Rehman, A., Zajif Hussain, S., & Abbas Bukhari, D. (2023). Uptake of lead by bacteria isolated from industrial effluents and their potential use in bioremediation of wastewater. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(8), 103740. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103740>
- INDICE. (2021). Reporte De Peligro Inminente Por Contaminación Hídrica Del Río Moche En Las Provincias Del Departamento De La Libertad. <https://portal.indeci.gob.pe/emergencias/reportes-de-peligro-inminente-n-144-17-12-2020-coen-indeci-2000-horas-reportes-n-1-por-contaminacion-hidrica-del-rio-moche-en-las-provincias-del-departamento-de-la-libertad/>

- Irigoin Gonzales, J. L. (2021). Aplicación de biosurfactantes producido por *Bacillus* en la remediación de suelos contaminados con metales pesados: Revisión sistemática. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/77530>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual E Industria. Cienciamérica: Revista De Divulgación Científica De La Universidad Tecnológica Indoamérica, 3(1), 47–50.
- Machuca Zarate, T. A., & Rojas Paredes, C. G. (2022). Uso de bacterias para la remoción de metales pesados en aguas ácidas mineras. Revisión sistemática 2022. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/94829>
- Mena, M. P. A., & Campos, H. A. R. (2017). Biorremediación de Metales Pesados con Aislados Microbianos Procedentes de Pasivos Ambientales Mineros y Aguas del Rio Hualgayoc—Cajamarca. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/994>
- Muñoz, L., Olivera-Gonzales, P., Santillán-Torres, M., & Tamariz-Angeles, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). Revista Peruana de Biología, 26(1), Article 1. <https://doi.org/10.15381/rpb.v26i1.15914>
- Peralta, F. A. T., Avilés, G. L., Camarillo, L. M., & Alvarado, K. del C. C. (2023). Bacterias tolerantes y resistentes a los metales pesados en el ambiente. EPISTEMUS, 17(35), Article 35. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i35.287>
- Quiroz, C. J. C., Choque, G. J. M., Callo, D. M. C., Quispe, G. de L. F., Pajuelo, D. G. F., & Mamani, M. C. (2024). Aislamiento y caracterización filogenética de bacterias nativas

- cultivables procedentes de minas abandonadas en Tacna, Perú. *Biotecnia*, 26, e2130–e2130. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2130>
- Ren, G., Jin, Y., Zhang, C., Gu, H., & Qu, J. (2020). Characteristics of *Bacillus* sp. PZ-1 and its biosorption to Pb(II). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 117, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.03.033>
- Rodríguez, H. (2023, August 28). Trujillo: Buscan Solución a Contaminación Del Río Moche. <https://larepublica.pe/sociedad/2023/08/28/trujillo-buscan-solucion-a-contaminacion-del-rio-moche-lrnd-1912221>
- Rodríguez Villanueva, K. N. (2022). Biorremediación mediante *Trichoderma* spp., *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* para reducir concentraciones de Cadmio en Espárrago. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5337>
- Standard Methods. (2023). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. <https://www.standardmethods.org/24theditioncitation>
- Tan, H., Wang, C., Zeng, G., Luo, Y., Li, H., & Xu, H. (2020). Bioreduction and biosorption of Cr (VI) by a novel *Bacillus* sp. CRB-B1 strain. *Journal of Hazardous Materials*, 386, 121628. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121628>
- Tur-Naranjo, L. E. (2013). Bioadsorción de plomo (II) por biomasa microbiana seca: Efecto del pH. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389419315821>
- Vargas, M. J. (2021). Método in vitro de bioacumulación de hierro (Fe(III)) para disminuir su contenido mediante el uso de *Bacillus subtilis* en muestras de agua del río Chicú. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/7235>