

Artículo

Efecto biorremediador de la espirulina y *Trichoderma* spp. en suelo contaminado con plomo (Pb)

Bioremediation effect of spirulina and *Trichoderma* spp. on lead-contaminated soil (Pb)

Gladys Alexandra Jeres-Caguana ^{1,*}, Victor Lenin Montaña-Roldan ², Nicomedes Leonidas Ordoñez-Zuñiga ³, Jose Humberto Vera-Rodriguez ⁴ y Leonel Rolando Lucas-Vidal ⁵

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo 120550, <https://orcid.org/0000-0001-5332-3725>

² Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Facultad de Ingenierías, Esmeraldas, Ecuador, 080102, <https://orcid.org/0000-0003-4424-048X>, victor.montano@utelvt.edu.ec

³ Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Facultad de Ingenierías, Esmeraldas, Ecuador, 080102, <https://orcid.org/0000-0003-2201-8503>, nicomedes.ordonez@utelvt.edu.ec

⁴ Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias Agrarias, Santa Elena, Ecuador, 240207, <https://orcid.org/0000-0003-3027-059X>, jvera7569@upse.edu.ec

⁵ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Carrera de Ingeniería Ambiental, Manabí, Ecuador, 130250, <https://orcid.org/0000-0002-2286-9407>, leonel.lucas@espam.edu.ec

* Correspondencia: gladys.jeres2015@uteq.edu.ec

Cita: Jeres-Caguana, G. A., Montaña-Roldan, V. L., Ordoñez-Zuñiga, N. L., Vera-Rodriguez, J. H., & Lucas-Vidal, L. R. (2025). Efecto biorremediador de la espirulina y *Trichoderma* spp. en suelo contaminado con plomo (Pb). *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(2), 1-12. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/48>

Recibido: 15/03/2025

Revisado: 10/04/2025

Aceptado: 17/04/2025

Publicado: 22/04/2025



Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/48>

Resumen: El presente estudio tuvo como objetivo analizar el efecto biorremediador de la espirulina y *Trichoderma* spp. en suelos contaminados con plomo, evaluando su capacidad de reducción de la concentración del metal, los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo y su potencial para la restauración ecológica. Se tomó una muestra de suelo contaminado con gasolina en El Empalme, Los Ríos, y se analizó en el laboratorio de suelos del INIAP. Se aplicaron tres tratamientos: espirulina líquida, *Trichoderma* spp. y un control, durante 15 días. Luego, las muestras fueron secadas y enviadas nuevamente al laboratorio para evaluar variables como pH, conductividad eléctrica (CE), amonio (NH₄), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), Σ de bases y contenido de plomo (Pb). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 5 réplicas por tratamiento. Los datos fueron analizados con ANOVA y prueba de Tukey usando InfoStat y Excel. La espirulina y *Trichoderma* spp. aumentaron el pH, la conductividad eléctrica, y los cationes básicos (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), mientras redujeron amonio, fósforo y plomo en el suelo, mostrando su eficacia en la biorremediación y mejora del suelo. Espirulina y *Trichoderma* spp. mejoran la calidad del suelo, reducen contaminantes y favorecen condiciones óptimas para cultivos sostenibles.

Palabras clave: biorremediación, cianobacteria, gasolina, metales pesados.

Abstract: The present study aimed to analyze the bioremediation effect of *Spirulina* and *Trichoderma* spp. on lead-contaminated soils, evaluating their ability to reduce lead concentrations, changes in soil physicochemical properties, and their potential for ecological restoration. A sample of gasoline-contaminated soil was taken from El Empalme, Los Ríos, and analyzed at the INIAP soil laboratory. Three treatments: liquid *Spirulina*, *Trichoderma* spp., and a control, were applied for 15 days. The samples were then dried and returned to the laboratory for evaluation of variables such as pH, electrical conductivity (EC), ammonium (NH₄), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), base Σ , and lead (Pb) content. A completely randomized design with 5 replicates per treatment was used. Data were analyzed with ANOVA and Tukey's test using InfoStat and Excel. *Spirulina* and *Trichoderma* spp. increased soil pH, electrical conductivity, and basic cations (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), while reducing ammonium, phosphorus, and lead, demonstrating their effectiveness in bioremediation and soil improvement. *Spirulina* and *Trichoderma* spp. improve soil quality, reduce contaminants, and promote optimal conditions for sustainable crops.

Keywords: bioremediation, cyanobacteria, gasoline, heavy metals.

1. Introducción

La contaminación de suelos por metales pesados representa una de las problemáticas ambientales más serias a nivel global, debido a su persistencia, toxicidad y capacidad de bioacumulación (Vera *et al.*, 2024). Entre estos contaminantes, el plomo (Pb) destaca por su amplia utilización industrial y por los graves efectos que causa en los ecosistemas y la salud humana (Donaires *et al.*, 2024). Su presencia en el suelo altera la estructura microbiana, afecta la fertilidad y representa una amenaza para la seguridad alimentaria, ya que puede ser absorbido por las plantas y transferido a la cadena trófica (Janampa *et al.*, 2024).

Durante gran parte del siglo XX, la gasolina con plomo fue ampliamente utilizada como aditivo para mejorar el rendimiento de los motores, especialmente a través del tetraetilo de plomo (Carrasquero-Durán, 2006). Sin embargo, esta práctica tuvo consecuencias ambientales severas, ya que la combustión de este tipo de combustible liberaba partículas de plomo que se dispersaron en el aire y posteriormente se depositaron en el suelo (González *et al.*, 2023). Con el tiempo, estas partículas se acumularon en áreas urbanas, carreteras y zonas cercanas a estaciones de servicio, generando una contaminación persistente y difícil de eliminar (Ubilla & Yohannessen, 2017). El plomo presente en el suelo afecta directamente la salud del ecosistema, interfiriendo con la actividad microbiana, reduciendo la fertilidad del suelo y representando un riesgo para la salud humana a través del contacto directo o la incorporación a cultivos agrícolas (Marín *et al.*, 2008). A pesar de que la gasolina con plomo ha sido eliminada progresivamente en muchos países, sus efectos contaminantes aún persisten en los suelos, lo que subraya la necesidad de estrategias efectivas de biorremediación (Arce & Calderón, 2017).

En este contexto, la biorremediación surge como una estrategia prometedora para la descontaminación de suelos (Pesántez & Castro, 2016). A diferencia de los métodos físicos y químicos convencionales, que suelen ser costosos y generar residuos secundarios, la biorremediación utiliza organismos vivos para transformar o inmovilizar

los contaminantes, reduciendo así su toxicidad y facilitando la restauración del ecosistema afectado (Goicochea-Trelles & Garcia-Lopez, 2022).

La espirulina (*Arthrospira platensis*), una cianobacteria ampliamente conocida por su valor nutricional, ha demostrado también un notable potencial en la remoción de metales pesados del ambiente (Ortiz-Villota *et al.*, 2018). Su estructura celular y composición bioquímica le permiten absorber y acumular plomo, convirtiéndose en una herramienta eficaz y ecológica para procesos de biorremediación (Alegría *et al.*, 2022). Además, su rápida tasa de crecimiento y adaptabilidad a diversas condiciones la hacen ideal para aplicaciones a escala ambiental (Rivera Gonzalez *et al.*, 2016).

Por otro lado, el género *Trichoderma*, compuesto por hongos filamentosos del suelo, es reconocido no solo por su capacidad como agente de control biológico y promotor del crecimiento vegetal, sino también por su habilidad para tolerar y transformar compuestos tóxicos, incluidos metales pesados (Pelcastre *et al.*, 2013). Algunas especies de *Trichoderma* han mostrado mecanismos activos de detoxificación, como la producción de sideróforos, la bioadsorción y la inmovilización de metales en la matriz fúngica (Andrade-Hoyos *et al.*, 2023).

El estudio tiene como objetivo analizar el efecto biorremediador de la espirulina y *Trichoderma* spp. en suelos contaminados con plomo, evaluando su capacidad de reducción de la concentración del metal, los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo y su potencial para la restauración ecológica.

2. Materiales y Métodos

2.1 Toma de muestra del suelo contaminado por plomo

Fue tomada una muestra de suelo contaminado por un derrame intencional de 20 litros de gasolina extra en una finca agropecuaria del cantón El Empalme de la provincia de Los Ríos entre las coordenadas 1°04'92"S -79°61'21"O.

Se realizó el levantamiento del suelo contaminado en un volumen comprendido a 0,5 m³, el mismo que fue homogenizado y se tomó una muestra de 1000 gramos para enviar a analizar al Laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas de la Estación Experimental Tropical "Pichilingue" del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) considerando las siguientes variables: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), amonio (NH₄), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), Σ de bases y contenido de plomo (Pb).

2.2 Asignación de tratamientos

Al suelo contaminado se le asignó los siguientes tratamientos: Espirulina líquida en concentración de (800 mg de biomasa seca/L⁻¹) a dosis de 100 mL/Kg⁻¹, *Trichoderma* spp. en concentración de 1x10⁹ a dosis de 0.1 g/Kg⁻¹ y un tratamiento Control (cero tratamientos).

2.3 Procedimiento de la experimentación

Los tratamientos fueron aplicados a diario durante 15 días a tempranas horas del día (06:00 am) diluidos en 1 L de agua destilada y añadidos sobre las macetas con las muestras de suelo contaminado. Posterior a los 15 días se abrieron las macetas y durante 2 días se esperó que disminuya la humedad del suelo a temperatura ambiente

para enviar analizar las muestras con los mismos parámetros iniciales al laboratorio de suelos del INIAP.

2.4 Análisis estadístico

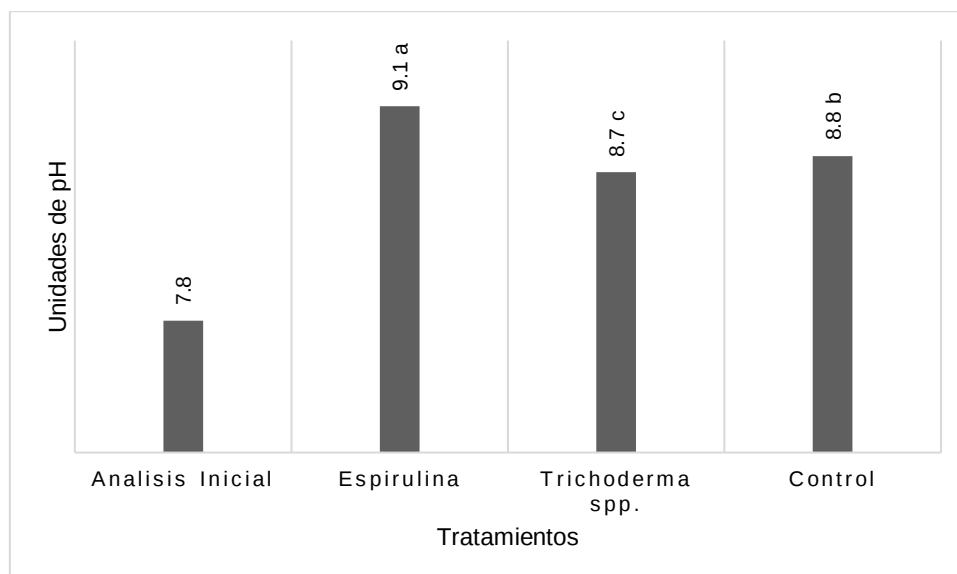
Se asignaron 3 tratamientos con 5 réplicas, cada unidad experimental comprendió 1 Kg de suelo bajo un diseño completamente aleatorizado DCA, sometidos a un análisis de varianza simple ANOVA y en los casos que se presentó diferencias significativas entre los tratamientos se sometieron a una prueba de Tukey ($p < 0.05$) (Rodríguez et al., 2020). Los datos fueron procesados en el software estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020) y las gráficas en Microsoft Excel 2023.

3. Resultados y discusión

La figura 1 muestra el resultado del análisis de pH del suelo sobre el efecto de los diferentes tratamientos efectuados. El tratamiento con espirulina como el de *Trichoderma* spp. incrementaron hacia alcalino el pH del suelo en comparación con su estado inicial. A pesar de esto, estadísticamente se presentaron diferencias significativas mostrando que la espirulina tuvo un efecto más pronunciado en el aumento del pH que el *Trichoderma* spp. Curiosamente, incluso el grupo de control experimentó un aumento en el pH.

Figura 1.

pH del suelo



El pH normal del suelo agrícola suele estar en un rango que favorezca el crecimiento de la mayoría de los cultivos, este rango es considerado ligeramente ácido a neutro (6.0 - 7.5), lo que permite una buena disponibilidad de nutrientes para las plantas (Sainz Rozas et al., 2011). Hernández-Melchor et al. (2019) sostiene que, el hongo *Trichoderma* puede producir enzimas y metabolitos secundarios que son básicos o alcalinos, como amoníaco o ciertos compuestos nitrogenados, lo que eleva el pH del medio donde actúa, así mismo al descomponer materia orgánica, libera iones como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , como indica Argumedo-Delira et al. (2009) que pueden neutralizar ácidos presentes en el suelo, causando una subida del pH, además, otra ámbito importante

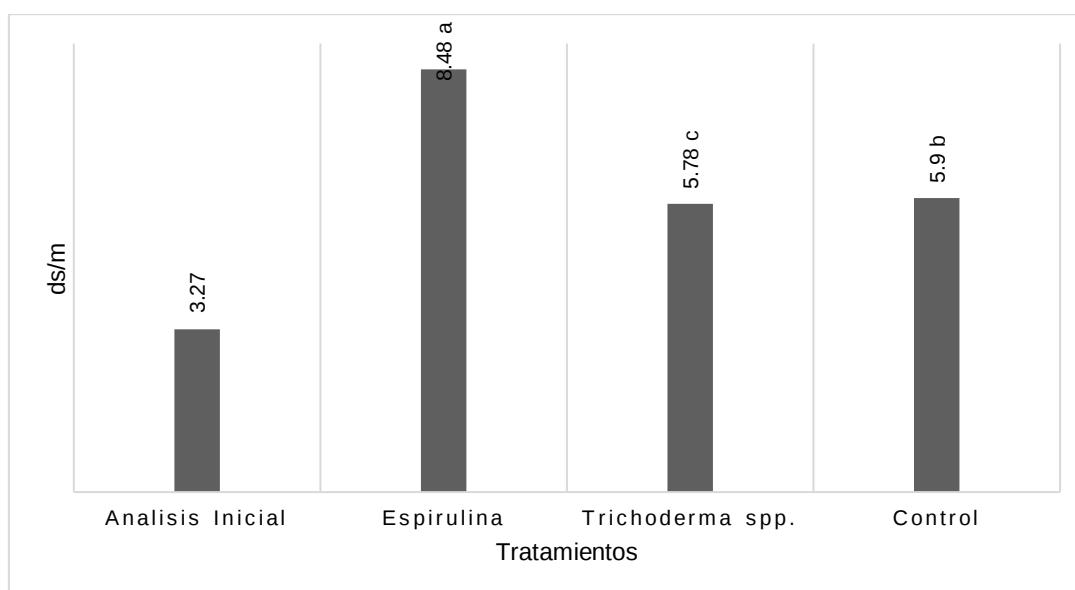
radica en que este género de hongo entomopatógeno tiene la capacidad de desplazar a otros hongos o bacterias que producen ácidos como es el caso del *Fusarium*, lo que reduce la acidificación natural del suelo (Guédez *et al.*, 2012).

Siendo así, Malpartida *et al.* (2020) indican que, la espirulina tiene alto contenido de proteínas y aminoácidos básicos, además de minerales como calcio, magnesio y potasio, que tienen un efecto alcalinizante en el suelo. De acuerdo con Ponce López, (2013), la espirulina crece en agua con pH alcalino muy alto (9–11), por lo tanto, cuando se usa en biofertilizantes o compost, arrastra esa alcalinidad al entorno donde se aplica. Mientras que, el pH del control se incrementó posiblemente al dispersar esporas de *Trichoderma* con el viento como afirma Pérez-Vicente (2018), y se diseminan en el suelo control, ya que el agua destilada utilizada presentaba un pH de 5,8, viento puede mover esporas.

Los valores de pH se ven influenciados mutuamente con los de la conductividad eléctrica que se observa en la figura 2. Cuando sube la conductividad eléctrica, también sube el pH del suelo, esto se debe a la presencia de muchas sales alcalinas como lo sostiene Mata-Fernández *et al.* (2014).

Figura 2.

Conductividad eléctrica

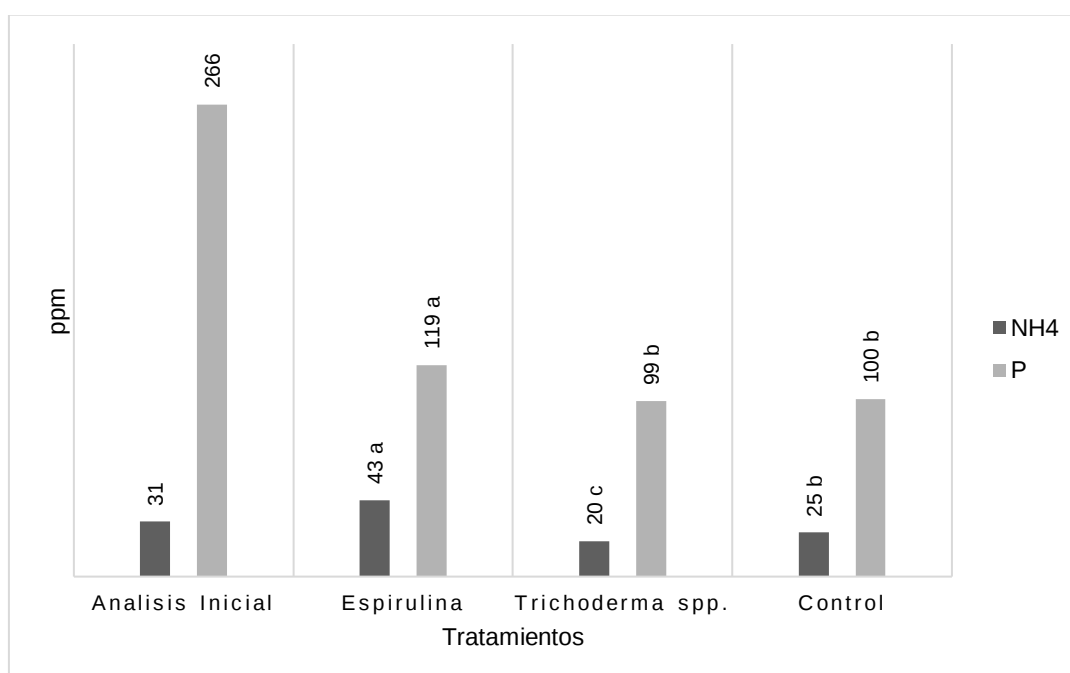


En la figura 3 se observa el contenido de amonio y fósforo en bajo el efecto de los tratamientos. En relación al análisis inicial, el amonio (NH_4) redujo en todos los tratamientos, existiendo diferencias significativas entre ellas y siendo el tratamiento con *Trichoderma* el más eficiente, lo que sugiere a estas especies dentro del grupo de microorganismos biorremediadores. El valor inicial puede observarse alto, debido a que la gasolina puede alterar el equilibrio del suelo, provocando mineralización acelerada de materia orgánica, matan o inhiben las bacterias nitrificantes convirtiéndose en $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ (Rodríguez Millán *et al.*, 2013), lo que puede ocurrir también al morir la espirulina, su descomposición aumenta el NH_4^+ (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). En concreto el contenido normal de NH_4^+ en suelos agrícolas es de 0.5 a 10 (ppm) como indica Soto-Mora *et al.* (2016).

Un patrón consistente fue la disminución significativa en los niveles de fósforo en todos los tratamientos, incluyendo el control. La reducción fue más marcada en el tratamiento con *Trichoderma spp.* y en el control, seguidos por la *Espirulina*, todos considerablemente menores al nivel inicial de 266 ppm. Esta disminución generalizada podría ser atribuible a la inmovilización de fósforo por la creciente biomasa microbiana estimulada por los tratamientos o a procesos de fijación química en el suelo durante el periodo experimental como afirma Cortés-Hernández *et al.* (2023). La notable reducción en el grupo control sugiere que incluso sin la adición de los tratamientos específicos, el fósforo disponible disminuyó, se podría atribuir al desarrollo de microorganismos nativos del suelo utilizándolos para funciones vitales como opina Santos Villalobos *et al.* (2018).

Figura 3.

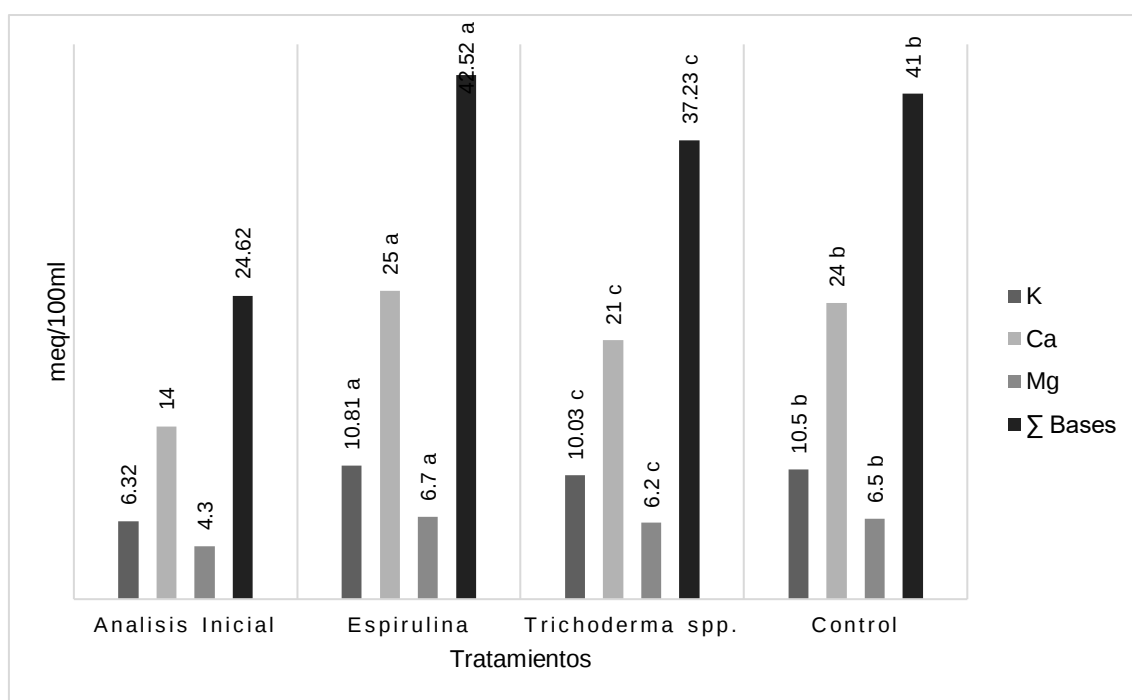
Contenido de amonio y fosforo en el suelo



La figura 4 indica que los tratamientos aplicados tuvieron un impacto significativo en el equilibrio de los cationes básicos del suelo. Se observó un aumento en la disponibilidad de potasio, calcio y magnesio. Como consecuencia, la capacidad total de intercambio catiónico representada por la suma de bases se aumentó también bajo los tres tratamientos.

Figura 4.

Contenido de potasio, calcio, magnesio y suma de bases



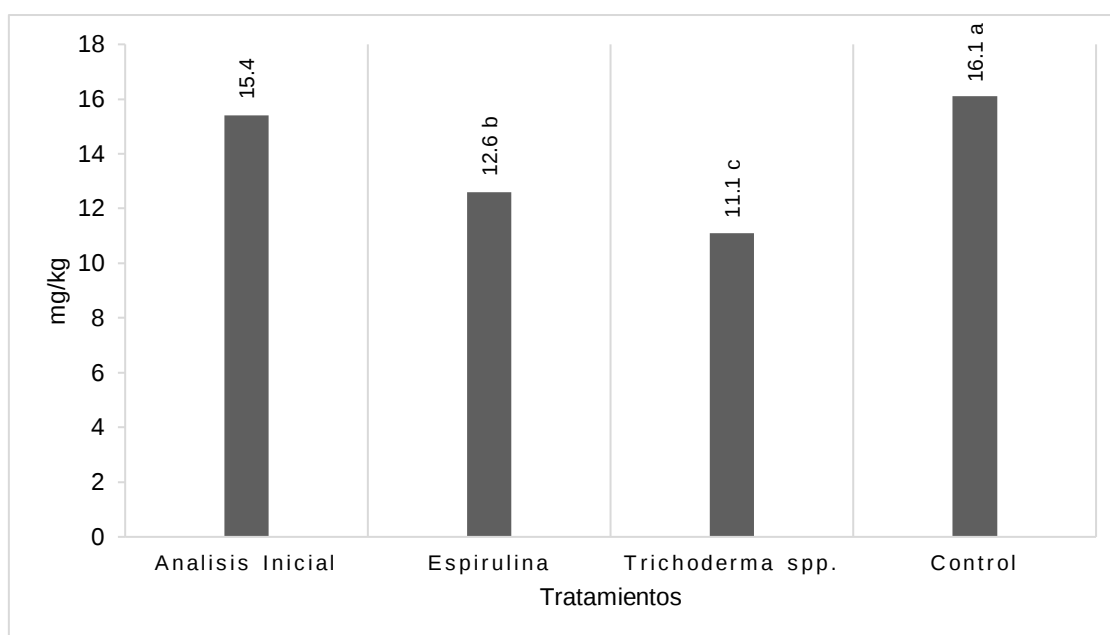
Se puede atribuir que, el incremento de estos cationes se deba a que el género *Trichoderma* mejora la disponibilidad de nutrientes a través de varios mecanismos como la solubilización de minerales, producción de enzimas y sideróforos aunque no aporte directamente Ca, Mg o K al suelo como lo sustenta Ortiz-Calcina *et al.* (2023). A diferencia del *Trichoderma*, la espirulina sí puede aportar directamente calcio, magnesio y potasio al suelo como lo señala Torres *et al.* (2014).

Los resultados sugieren que tanto la espirulina como el *Trichoderma* spp. tienen el potencial de inmovilizar o reducir la disponibilidad de plomo en el suelo (figura 5) presentando diferencias significativas estadísticamente. El aumento observado en el grupo control podría deberse a variaciones naturales dentro del sistema experimental o a la ausencia de algún factor que estuviera contribuyendo a mantener o reducir los niveles de plomo en las muestras tratadas.

El hongo *Trichoderma* spp. puede adsorber iones de plomo en su pared celular, que contiene quitina, glucanos y proteínas con grupos funcionales capaces de atrapar metales pesados, a este proceso se llama biosorción, y reduce la cantidad de Pb disponible según Ávila-Chuquiruna *et al.* (2017). Desde el punto de vista de la pared celular de la espirulina tiene grupos funcionales como Carboxilos (-COOH); Fosfatos (-PO₄³⁻) y Aminos (-NH₂), estos grupos pueden atrapar iones de Pb²⁺, reduciendo su movilidad, menciona Cuizano & Navarro (2008), se ha demostrado que la biomasa de espirulina puede absorber hasta 80–90% del plomo presente en soluciones acuosas, dependiendo del pH y la concentración (Jacome-Pilco *et al.*, 2021).

Figura 5.

Contenido de plomo en el suelo



Estos hallazgos son interesantes desde una perspectiva de biorremediación, ya que indican que estos tratamientos podrían ser útiles para reducir la contaminación por metales pesados como el plomo en el suelo.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que tanto la espirulina como el hongo *Trichoderma spp.* generaron efectos positivos en las propiedades fisicoquímicas del suelo, con implicancias relevantes para la biorremediación y la mejora de la fertilidad. Ambos tratamientos incrementaron el pH del suelo hacia valores más alcalinos, siendo la espirulina la que produjo un efecto más marcado. Asimismo, se observó una reducción significativa en los niveles de amonio y fósforo, especialmente en el tratamiento con *Trichoderma spp.*, lo que sugiere una posible actividad biorremediadora por parte de este microorganismo.

En cuanto a los cationes básicos (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), ambos tratamientos contribuyeron a mejorar su disponibilidad en el suelo, aumentando la capacidad de intercambio catiónico, ya sea por el aporte directo de minerales (espirulina) o por la acción solubilizadora del hongo *Trichoderma*. Finalmente, se evidenció una disminución en la disponibilidad de plomo en los tratamientos con espirulina y *Trichoderma spp.*, lo cual refuerza su potencial uso como agentes biorremediadores frente a la contaminación por metales pesados.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que la aplicación de espirulina y *Trichoderma spp.* podría constituir una estrategia eficaz, ecológica y sostenible para la recuperación de suelos contaminados y la mejora de su calidad agroproductiva.

Contribución de los autores: Conceptualización, GAJ-C. y JHV-R.; metodología, LRL-V.; software, VLM-R.; validación, NLO-Z.; análisis formal, LRL-V.; investigación, GAJ-C. y JHV-R.; recursos, GAJ-C. y JHV-R.; conservación de datos, VLM-R.; redacción del borrador original, GAJ-C. y JHV-R.; redacción, revisión y edición, GAJ-C. y JHV-R.; visualización, NLO-Z.; supervisión, LRL-V.; administración del proyecto, GAJ-C.

obtención de financiación, GAJ-C. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa.

Agradecimientos: A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Facultad de Posgrados y a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), programa de becas.

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: gladys.jeres2015@uteq.edu.ec

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias Bibliográficas

- Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., & Romero-Arenas, O. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366-377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Arce, S., & Calderón, M. (2017). Suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya-Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 20(40), 48-55. <https://www.academia.edu/download/78474919/12724.pdf>
- Argumedo-Delira, R., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2009). El género fúngico *Trichoderma* y su relación con los contaminantes orgánicos e inorgánicos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(4), 257-269. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992009000400006&script=sci_arttext
- Alegría, L. A. R., Santillán, C. S. R., Hinojosa, J. S. S., Pilco, C. R. J., & Muñoz, I. M. G. (2022). Biorremediación de aguas residuales agroindustriales mediante el cultivo de *Spirulina* SP y biomasa utilizada como suplemento alimenticio para animales. *Studies in Environmental and Animal Sciences*, 3(3), 596-615. <https://doi.org/10.54020/seasv3n3-009>
- Ávila-Chuquiruna, H., Alayo-Aguirre, E. P., Burgos-Wilson, N. E., & Wilson-Krugg, J. H. (2017). Adsorción de ion cúprico y plumboso por *Trichoderma asperellum* a partir de soluciones ideales. *Veritas*, 16(1), 65-68. <https://revistas.ucsm.edu.pe/ojs/index.php/veritas/article/view/98>
- Carrasquero-Durán, A. (2006). Determinación de los niveles de contaminación con plomo en los suelos y polvo de las calles de la ciudad de Maracay. *Agronomía Tropical*, 56(2), 237-252. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000200006
- Cortés-Hernández, F. D. C., Alvarado-Castillo, G., & Sánchez-Viveros, G. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 73-87. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>

Cuizano, N. A., & Navarro, A. E. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Anales de Química de la RSEQ*, (2), 120-125. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2662606.pdf>

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Donaires, A. E., Lume, L. M. A., Armas, L. Q., Ibañez, C. S. G., & Felipe, W. C. (2024). Contaminación ambiental por plomo (Pb) por minería ilegal en la comunidad pampas-constancia, Lircay–Huancavelica, 2023. *Revista de investigación científica siglo XXI*, 4(2), 75-85. <https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v4i2.578>

Goicochea-Trelles, P. A., & Garcia-Lopez, Y. J. (2022). Fitorremediación para recuperar suelos contaminados por metales pesados: Discusión de revisión sistemática. *Agroindustrial Science*, 12(3), 293-303. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.03.08>

González, V., Urriola, L., Carrera, B., & Mora, F. (2023). Evaluación del estado de contaminación por plomo en suelos de Panamá ubicados a orilla de carreteras. *Revista Semilla del Este*, 3(2), 170-185.

Guédez, C., Cañizalez, L., Castillo, C., & Olivar, R. (2012). Evaluación in vitro de aislamientos de *Trichoderma harzianum* para el control de *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 32(1), 44-49. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-25562012000100009&script=sci_abstract&tlng=e

Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 49(2), 157-173. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>

Jacome-Pilco, C., Ballesteros, C., Rea, E., & Cayambe, L. M. R. (2021). Microalgas en el tratamiento de aguas residuales generadas en industrias de curtiembres. *Ciencia y Tecnología*, 14(2), 47-55. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.502>

Janampa, J. D. P., Peramas, L. D. T., Ponce, J. M. R., Condori, N. K. C., Aranda, A. J. M., Hualaparuca, L. L. T. M., & Oro, A. S. Z. (2024). Estado del arte de tecnologías de remediación de suelos contaminados por plomo: Revisión Sistemática 2014-2024. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 7(1), 56-81. <https://doi.org/10.51343/racs.v7i1.1307>

Malpartida, R., Aldana, L., Sánchez, K., Gómez, L., & Lobo, J. (2022). El valor nutricional y compuestos bioactivos de la Espirulina: Potencial suplemento alimenticio. *Ecuadorian Science Journal*, 6(1), 42-51. <https://doi.org/10.46480/esj.6.1.133>

Marín, E. C., Sánchez, H. G., & Mejía, F. Á. (2008). Colombia en la era del alcohol carburante. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 3(2), 120-132. <https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428100014.pdf>

Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J., & Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(5), 26-35.

http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2014/05_SALINIDAD_EN_SUELOS_ESPANOL.pdf

Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). Trichoderma: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(1), 98-112.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522013000100001&script=sci_arttext

Ortiz-Villota, M. T., Romero-Morales, M. A., & Meza-Rodríguez, L. D. (2018). La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia. *Revista de investigación, desarrollo e innovación*, 9(1), 163-176.

<https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8153>

Ortiz-Calcina, N., Leon-Ttacca, B., Pauro-Flores, L., Borja-Loza, R., Mendoza-Coari, P. P., & Palao, L. A. (2023). Biofertilización con cepas de *Trichoderma* sp. sobre la nutrición de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) var. Salcedo INIA en invernadero. *Bioagro*, 35(2), 105-112.

<https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>

Pelcastre, M. I., Ibarra, J. V., Navarrete, A. M., Rosas, J. C., Ramirez, C. G., & Sandoval, O. A. (2013). Bioremediation perspectives using autochthonous species of *Trichoderma* sp. for degradation of atrazine in agricultural soil from the Tulancingo Valley, Hidalgo, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(2).

<http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.1685>

Pérez-Vicente, L. (2018). *Moniliophthora roreri* HC Evans et al. y *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime: impacto, síntomas, diagnóstico, epidemiología y manejo. *Revista de protección vegetal*, 33(1), 01-13.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522018000100007&script=sci_arttext

Pesántez, M., & Castro, R. (2016). Potencial de cepas de *Trichoderma* spp. para la biorremediación de suelos contaminados con petróleo. *Bioteología Vegetal*, 16(4).

<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/541>

Ponce López, E. (2013). Superalimento para un mundo en crisis: *Spirulina* a bajo costo. *Idesia (Arica)*, 31(1), 135-139.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000100016>

Rodríguez Millán, K. A., Monreal Vargas, C. T., Huerta Díaz, J., Soria Colunga, J. C., & Jarquín Gálvez, R. (2013). Aporte de Microorganismos Benéficos por la Incorporación al Suelo de Residuos Deshidratados de Col (*Brassica oleracea* var *capitata*) y su Efecto en el pH. *Revista mexicana de fitopatología*, 31(1), 29-44.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092013000100004&script=sci_arttext

Rodríguez, V., Humberto, J., Ing, C. L., Eder, W., Tnlgo, T. A., Maribel, K., ... & Rivera, R. (2020). Evaluación de la calidad del huevo marrón comercial del cantón La Troncal, Ecuador. *Revista colombiana de ciencia animal recia*, 12(2), 51-59.

<https://doi.org/10.24188/recia.v12.n2.2020.771>

Rivera Gonzalez, M. V., Gómez Gómez, L., Cubillos Hinojosa, J. G., & Peralta Castilla, A. (2016). Efecto de carbón tipo lignito sobre el crecimiento y producción de pigmentos de *Arthrospira platensis*. *Revista colombiana de biotecnología*, 18(1), 73-80.

<http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49994>

Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., & Angelini, H. P. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del suelo*, 29(1), 29-37. <https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672011000100004&..>

Santos Villalobos, S. D. L., Parra Cota, F. I., Herrera Sepúlveda, A., Valenzuela Aragón, B., & Estrada Mora, J. C. (2018). Colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 191-202. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.858>

Soto-Mora, E. S., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H. S., Ortiz-Ortiz, E., & García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 98-102. <http://reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>

Torres, A., Parra, J., Rojas, D., & Fernández-Gómez, R. (2014). Efecto de la suplementación de sémola de trigo con *Arthrospira platensis* sobre calidad, aceptabilidad y composición física y química de espaghetis. *Vitae*, 21(2), 81-89. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0121-40042014000200002&script=sci_arttext

Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118.

Vera, J., Gavin-Moyano, C., Villamar, M., Ortiz, J., Sevilla, J., Lucas, L., & García, B. (2024). Chemical study of the macrophyte duckweed (*Lemna minor* L.). *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 42(1), e254202. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v42.n1.II](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v42.n1.II)