

Evaluación de la bioabsorción y biodegradación de plomo y cadmio en consorcios bacterianos de agua del río Chibunga Riobamba – Ecuador

Evaluation of the biosorption and biodegradation of lead and cadmium in bacterial consortia of the Chibunga river water Riobamba - Ecuador

Avaliação da bioabsorção e biodegradação de chumbo e cádmio em consórcios bacterianos da água do rio Chibunga, Riobamba - Equador

Curay Yaulema, Carlos Santiago
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
carlos.curay@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-0946-5298>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/nE2/223>

Como citar:

Curay, C. (2023). Evaluación de la bioabsorción y biodegradación de plomo y cadmio en consorcios bacterianos de agua del río Chibunga Riobamba – Ecuador. *Código Científico Revista de Investigación*, 4(E2), 1361-1379.

Recibido: 18/07/2023

Aceptado: 11/08/2023

Publicado: 29/09/2023

Resumen

Este estudio presenta una investigación que aborda la acumulación de metales pesados en cepas microbianas en aguas urbanas. Se llevaron a cabo muestreos en cuatro ubicaciones estratégicas a lo largo del río Chibunga en Riobamba Provincia de Chimborazo Ecuador, analizando parámetros físico – químicos Demanda Bioquímica de Oxígeno, pH, Grasas y Aceites, Tensoactivos, Oxígeno disuelto, Sólidos Totales Suspendidos, Nitratos, Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en las muestras de agua del río. Los metales pesados cadmio y plomo fueron objeto de análisis. El estudio se centró en la determinación de la concentración de estos metales pesados en cepas bacterianas específicas: *Dechloromonas aromatica*, *Pseudomonas aeruginosa*, así como un consorcio conformado por *Dechloromonas aromatica* y *Pseudomonas aeruginosa*. Los resultados obtenidos en los estudios de biodegradación y la determinación del porcentaje de pérdida de los metales pesados individuales en soluciones de caldo inoculadas con bacterias individuales y el consorcio (*D. aromatica* + *P. aeruginosa*) arrojaron hallazgos prometedores. Se destacó la contribución significativa del consorcio bacteriano (*D. aromatica* + *P. aeruginosa*) al lograr una reducción máxima del contenido de metales pesados en un 19%. Además, se evaluó la eficiencia de la bioacumulación o biodegradación de los metales pesados en todas las muestras de río, observando una pérdida porcentual que varió del 19.5 % al 30.77%. Estos resultados indican un importante avance en la comprensión y la aplicación de consorcios bacterianos para la eliminación efectiva de metales pesados en aguas urbanas. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones en la optimización de las condiciones de crecimiento bacteriano con miras a la eliminación de metales pesados en diversos tipos de aguas y aguas residuales, lo que podría tener un impacto significativo en la calidad del agua y la gestión ambiental.

Palabras clave: Metales pesados, Biodegradación, Bioacumulación, *Dechloromonas aromatica*, *Pseudomonas aeruginosa*, Calidad del agua, Gestión ambiental.

Abstract

This study presents an investigation that addresses the accumulation of heavy metals in microbial strains in urban waters. Sampling was carried out at four strategic locations along the Chibunga river in Riobamba, Chimborazo Province, Ecuador, analyzing physical-chemical parameters Biochemical Oxygen Demand, pH, Fats and Oils, Surfactants, Dissolved Oxygen, Total Suspended Solids, Nitrates, Cadmium (Cd) and Lead (Pb) in the river water samples. The heavy metals cadmium and lead were analyzed. The study focused on the determination of the concentration of these heavy metals in specific bacterial strains: *Dechloromonas aromatica*, *Pseudomonas aeruginosa*, as well as a consortium formed by *Dechloromonas aromatica* and *Pseudomonas aeruginosa*. The results obtained in the biodegradation studies and the determination of the percentage loss of individual heavy metals in broth solutions inoculated with individual bacteria and the consortium (*D. aromatica* + *P. aeruginosa*) yielded promising findings. The significant contribution of the bacterial consortium (*D. aromatica* + *P. aeruginosa*) in achieving a maximum reduction of heavy metal content by 19% was highlighted. In addition, the efficiency of bioaccumulation or biodegradation of heavy metals in all river samples was evaluated, observing a percentage loss ranging from 19.5% to 30.77%. These results indicate an important advance in the understanding and application of bacterial consortia for the effective removal of heavy metals in urban waters. This study lays the foundation for future research in optimizing bacterial growth conditions for heavy metal removal in various types of water and wastewater, which could have a significant impact on water quality and environmental management.

Keywords: Heavy metals, Biodegradation, Bioaccumulation, *Dechloromonas aromatica*, *Pseudomonas aeruginosa*, Water quality, Environmental management.

Resumo

Este estudo apresenta uma investigação que aborda o acúmulo de metais pesados em cepas microbianas em águas urbanas. A amostragem foi realizada em quatro locais estratégicos ao longo do rio Chibunga, na província de Riobamba, Chimborazo, Equador, analisando os parâmetros físico-químicos Demanda Bioquímica de Oxigênio, pH, gorduras e óleos, surfactantes, oxigênio dissolvido, sólidos totais em suspensão, nitratos, cádmio (Cd) e chumbo (Pb) nas amostras de água do rio. Os metais pesados cádmio e chumbo foram analisados. O estudo se concentrou na determinação da concentração desses metais pesados em cepas bacterianas específicas: *Dechloromonas aromatica*, *Pseudomonas aeruginosa*, bem como um consórcio composto por *Dechloromonas aromatica* e *Pseudomonas aeruginosa*. Os resultados obtidos nos estudos de biodegradação e a determinação da perda percentual de metais pesados individuais em soluções de caldo inoculadas com bactérias individuais e o consórcio (*D. aromatica* + *P. aeruginosa*) mostraram descobertas promissoras. Foi destacada a contribuição significativa do consórcio bacteriano (*D. aromatica* + *P. aeruginosa*) na obtenção de uma redução máxima de 19% do conteúdo de metais pesados. Além disso, a eficiência de bioacumulação ou biodegradação dos metais pesados em todas as amostras de rios foi avaliada, observando-se uma perda percentual que variou de 19,5% a 30,77%. Esses resultados indicam um avanço importante na compreensão e na aplicação de consórcios bacterianos para a remoção eficaz de metais pesados em águas urbanas. Este estudo estabelece a base para pesquisas futuras na otimização das condições de crescimento bacteriano para a remoção de metais pesados em vários tipos de água e águas residuais, o que poderia ter um impacto significativo na qualidade da água e na gestão ambiental.

Palavras-chave: Metais pesados, Biodegradação, Bioacumulação, *Dechloromonas aromata*, *Pseudomonas aeruginosa*, Qualidade da água, Gestão ambiental.

Introducción

Latinoamérica, una región caracterizada por su vasta biodiversidad y riqueza hídrica, enfrenta desafíos crecientes en la gestión y conservación de sus recursos acuáticos. En este contexto, Ecuador, un país que alberga una porción significativa de la Amazonía y una diversidad de ecosistemas acuáticos, no es ajeno a los problemas ambientales que afectan la calidad del agua.

(*Vista de Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores de Calidad Hídrica En Áreas de Descargas Residuales Al Río Quevedo, Ecuador.Pdf*, n.d.) La rápida urbanización, el desarrollo industrial y las prácticas agrícolas intensivas han llevado a una preocupante acumulación de contaminantes en sus cuerpos de agua, siendo los metales pesados uno de los principales agentes contaminantes que amenazan la salud pública y la integridad ecológica de la región (Gualoto & Oña, 2022) (Zarazúa et al., 2013).

Los metales pesados, como el cadmio y el plomo, derivados de actividades antropogénicas, se han identificado como contaminantes persistentes que pueden bioacumularse en la cadena alimentaria, afectando tanto a la fauna acuática como a las comunidades humanas que dependen de estos recursos. La naturaleza no degradable de estos metales hace que su persistencia en ecosistemas acuáticos sea un problema de gestión ambiental de primer orden (Zarazúa et al., 2013).

En este escenario, la biodegradación y bioacumulación emergen como estrategias prometedoras para abordar la contaminación por metales pesados. Específicamente, cepas bacterianas como *Dechloromonas aromatica* y *Pseudomonas aeruginosa* han mostrado potencial en la biorremediación de estos contaminantes. Estos microorganismos, al interactuar con los metales pesados, pueden modificar su estado de oxidación, reduciendo su toxicidad y facilitando su eliminación del medio ambiente (Veloz & Carbonel, 2018).

El presente estudio se centra en la evaluación de consorcios bacterianos en 4 puntos específicos a lo largo del río Chibunga Riobamba, con el objetivo de comprender y optimizar su capacidad para eliminar eficientemente metales pesados de aguas urbanas (S. E. Pabón et al., 2020). A través de esta investigación, buscamos sentar las bases para futuras intervenciones que mejoren la calidad del agua y fortalezcan la gestión ambiental en Ecuador y en la región latinoamericana en su conjunto (Hansen, 1992).

Metodología

Recolección de Muestras

Se procedió a la recolección de muestras de agua de cuatro ubicaciones estratégicas a lo largo del río Chibunga, según se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1*Punto de muestreo*

Punto	Zona	Coordenadas	msnm	Localización
Punto 1	17	0745181/9825488	3427	Comunidad Chimborazo
Punto 2	17	0746663/ 9818439	3240	Parroquia San Juan
Punto 3	17	0760055 / 9813880	2740	Sector Puente CESA Riobamba, Vía a Yaruquies
Punto 4	17	0765099 / 9810089	2615	Descarga río Chibunga a río Chambo

Nota: Autores (2023)

Se realizó un muestreo simple aleatorio, cada muestra se recogió en botellas esterilizadas de 500 mL. Durante el proceso de recolección, se llevó a cabo mediciones in situ como pH y oxígeno disuelto. Inmediatamente, las muestras se transportaron al laboratorio y se mantuvieron en condiciones de refrigeración antes de la evaluación de diversos parámetros físico-químicos.

Tabla 2*Análisis de las Características Físico-Químicas de las Muestras*

No.	Parámetros	Limite Permissible
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	100 mg/L
2	pH	6.5 a 9
3	Grasas y Aceites	0.3 mg/L
4	Tensoactivos	0.5 mg/L
5	Oxígeno disuelto	≤5 mg/L
6	Sólidos Totales Suspendidos	1000mg/L
7	Nitratos	10 mg/L
8	Cadmio (Cd)	0,001 mg/L.
9	Plomo (Pb)	0,001 mg/L

Nota: Autores (2023)

Se sometieron las muestras de agua recolectadas a un análisis de múltiples parámetros físico-químicos, tal como se detalla en la Tabla 2. Cada uno de estos parámetros se evaluó en

referencia con los niveles permisibles estipulados en el libro VI, Anexo 1 Tabla 3 del TULSMA (2003) (Ambiente, 2011) .

Metales Pesados y Bacterias Acumuladoras de Metales

Adquisición de Metales Pesados

Los reactivos estándar de grado analítico de metales pesados (cadmio y plomo) se adquirieron a través de proveedores químicos locales ESPECTROCROM, Proinstra y Sigma Aldrich.

Obtención de Bacterias Acumuladoras de Metales.

Las bacterias acumuladoras de metales pesados (*Dechloromonas aromatica* y *Pseudomonas aeruginosa*) se obtuvieron de SIMED. Estos microorganismos fueron subcultivados en caldo nutritivo y se mantuvieron bajo condiciones controladas de laboratorio microbiológico (Akhtar et al., 2013).

Estudios de Acumulación de Metales y su Determinación

Los estudios de acumulación de metales se llevaron a cabo de forma individual para cada tipo de metal, utilizando caldo nutritivo suplementado con estándares de metales e inoculado con las bacterias de prueba, ya sea de manera individual o en consorcio. En resumen, se prepararon 100 mL de caldo nutritivo enriquecido con concentraciones iniciales de metales de 500 mg/L de cadmio. A esta mezcla se le inoculó 1 mL de las bacterias de prueba (*Dechloromonas aromatica*); en un segundo matraz de caldo nutriente, se inoculó 1 mL de las bacterias de prueba (*Pseudomonas aeruginosa*); y en un tercer matraz de caldo nutriente, se inoculó 1 mL del consorcio (*Dechloromonas aromatica* y *Pseudomonas aeruginosa*). Una prueba experimental similar se llevó a cabo para el estándar de plomo. Todos los matraces suplementados con metales e inoculados con las bacterias de prueba se incubaron a 37°C en un agitador a 120 rpm. Simultáneamente, se realizaron pruebas de control utilizando matraces de caldo nutritivo con estándar del metal, pero sin la presencia de bacterias de prueba (S. E. Pabón et al., 2020) (Batallas Valarezo et al., 2021).

La acumulación de metales por parte de las bacterias de prueba se determinó mediante los siguientes protocolos. Se tomaron muestras de cada matraz en el momento 0 (cero) después de la inoculación para registrar la concentración inicial de metal residual y nuevamente después de 120 horas para registrar la concentración residual final utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Bose & Chakraborty, 1957) (González et al., 2004). A partir del matraz de cultivo, se recolectó la biomasa bacteriana después de centrifugar el caldo. La biomasa recolectada de cada bacteria de prueba y del consorcio se enjuagó en solución salina tamponada con fosfato y se secó en un horno de vacío durante 2 a 4 horas (Alzate Luisa, 2021). El contenido de metales pesados acumulado en la biomasa bacteriana se extrajo mediante digestión utilizando una mezcla de ácido perclórico y ácido nítrico en una proporción de 1:2. La biomasa digerida se filtró a través de papel de filtro Whatman y se ajustó el volumen a 50 mL con agua destilada. El contenido de metales pesados se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica. Se calculó el porcentaje de pérdida de metales pesados siguiendo el método descrito en trabajos anteriores (Akhtar et al., 2013). La pérdida de metales pesados se calculó restando el nivel final de metales pesados (nivel residual después de 96 horas) del nivel inicial de metales pesados (nivel residual en el momento 0). Se realizó un procedimiento experimental similar para degradar los metales pesados presentes en muestras de agua de río recolectadas utilizando consorcios microbianos. (Pauta et al., 2019)

Resultados

Características Físico-Químicas de las Muestras de Agua

Las características físico-químicas de las diversas muestras de agua recolectadas se realizaron en los puntos descritos en la Tabla 3 respectivamente.

En el caso de las muestras de agua Punto 1 Comunidad Chimborazo se observó que todos los parámetros analizados se encontraban dentro de los niveles permitidos según lo establecido por

Tabla 3 del TULSMA (2003). Sin embargo, los metales pesados cadmio y plomo se hallaron en concentraciones superiores a los límites permitidos

Tabla 3

Resultados de análisis de agua en el Punto 1 Comunidad Chimborazo

No.	Parámetros	Límite Permisible	Valor
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	100 mg/L	3 mg/L
2	pH	6.5 a 9	8
3	Gasas y Aceites	0.3 mg/L	0.07 mg/L
4	Tensoactivos	0.5 mg/L	0.028 mg/L
5	Oxígeno disuelto	≥5 mg/L	7.6 mg/L
6	Sólidos Totales Suspendidos	1000mg/L	108 mg/L
7	Nitratos	10 mg/L	1.55 mg/L
8	Cadmio (Cd)	0,001 mg/L.	0,001 mg/L.
9	Plomo (Pb)	0,001 mg/L	0.003 mg/L

Nota: Autores (2023)

Resultados prácticamente similares se obtuvieron en cuanto a las características físico-químicas de las cinco muestras de agua. No obstante, se detectaron variaciones significativas en los tipos de metales y sus contenidos entre las tres categorías de muestras de agua sometidas a prueba. Por ejemplo, en el caso del Punto 2 Parroquia San Juan, las muestras de agua mostraron valores dentro de los rangos permitidos para los parámetros físico-químicos, pero se encontraron concentraciones elevadas de los metales pesados cadmio y plomo.

Tabla 4

Resultados de análisis de agua en el Punto 2 Parroquia San Juan

No.	Parámetros	Límite Permisible	Valor
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	100 mg/L	4 mg/L
2	pH	6.5 a 9	8.1
3	Gasas y Aceites	0.3 mg/L	0.14 mg/L
4	Tensoactivos	0.5 mg/L	0.035 mg/L
5	Oxígeno disuelto	≥5 mg/L	7.4 mg/L
6	Sólidos Totales Suspendidos	1000mg/L	390 mg/L
7	Nitratos	10 mg/L	2.14 mg/L
8	Cadmio (Cd)	0,001 mg/L.	0,001 mg/L.
9	Plomo (Pb)	0,001 mg/L	0.003 mg/L

Nota: Autores (2023)

Por su parte, las muestras de agua recolectadas en el Punto 3 Sector Puente CESA Riobamba, Vía a Yaruquies también cumplieron con los niveles permisibles para todos los parámetros físico-químicos, pero se evidenció que los metales pesados cadmio y plomo excedieron los límites establecidos, como se describe en la Tabla 5. En cuanto a las características físico-químicas Punto 4 Parroquia San Luis se encontraron dentro de los límites permitidos, a pesar de que los metales pesados superaron los niveles permisibles, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Resultados de análisis de agua en el Punto 3 Sector Puente CESA Riobamba, Vía a Yaruquies

No.	Parámetros	Limite	Valor
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	100 mg/L	14 mg/L
2	pH	6.5 a 9	8.4
3	Gasas y Aceites	0.3 mg/L	0.14 mg/L
4	Tensoactivos	0.5 mg/L	0.534 mg/L
5	Oxígeno disuelto	≥5 mg/L	7.1 mg/L
6	Sólidos Totales Suspendidos	1000mg/L	790 mg/L
7	Nitratos	10 mg/L	3.23 mg/L
8	Cadmio (Cd)	0,001 mg/L.	0,002 mg/L.
9	Plomo (Pb)	0,001 mg/L	0.0055 mg/L

Nota: Autores (2023)

De la misma manera, las muestras recolectadas en el Punto 4 Descarga río Chibunga a río Chambo cumplieron con los niveles permisibles para todos los parámetros físico-químicos, pero se evidenció que los metales pesados cadmio y plomo excedieron los límites establecidos, como se describe en la Tabla 6.

Tabla 6

Resultados de análisis de agua en el Punto 4 Descarga río Chibunga a río Chambo

No.	Parámetros	Limite Permisible	Valor
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	100 mg/L	16 mg/L
2	pH	6.5 a 9	8.2
3	Gasas y Aceites	0.3 mg/L	0.19 mg/L
4	Tensoactivos	0.5 mg/L	0.465 mg/L
5	Oxígeno disuelto	≥5 mg/L	6.9 mg/L
6	Sólidos Totales Suspendidos	1000mg/L	871 mg/L
7	Nitratos	10 mg/L	5.09 mg/L
8	Cadmio (Cd)	0,001 mg/L.	0,003 mg/L.
9	Plomo (Pb)	0,001 mg/L	0.0081 mg/L

Nota: Autores (2023)

La variabilidad en los tipos y contenidos de metales observada entre los cuatro puntos de muestreo de agua podría deberse a las diferencias en las descargas presentes en cada punto. Además, las actividades industriales y otras acciones humanas en las cercanías de estas fuentes de agua pueden influir en los tipos y niveles de metales presentes.

Basándonos en los resultados obtenidos acerca de los niveles de metales pesados en las muestras de agua recogidas, se prepararon concentraciones conocidas de estándares de metales de cadmio y plomo, y se investigó la eficiencia de degradación de estos metales por parte de las bacterias. Los estudios de degradación se llevaron a cabo tanto para las bacterias individuales como para los consorcios, en relación con cada una de las soluciones estándar del metal. A continuación, se presenta la degradación de cada uno de los metales, expresada en términos de porcentaje.

Estudios de Biodegradación y Porcentaje de Reducción de Metales Pesados

En la Tabla 7 se presenta el porcentaje de reducción de los contenidos individuales de metales pesados en la solución de caldo inoculada con bacterias individuales y el consorcio (*D. aromatica* + *P. aeruginosa*). Este estudio se llevó a cabo a lo largo de un período de 120 horas, y los cambios en el contenido de metal se expresan en términos del porcentaje de reducción. La tabla 7 proporciona una representación gráfica del porcentaje de reducción de cada metal influenciado por las bacterias de prueba.

Tabla 7

Estudios de Biodegradación y Porcentaje de Reducción de Metales Pesados

Tipo de metal pesado suplementado en el caldo	Bacterias inoculadas en el caldo con metales	Contenido de metales pesados mg/L		Pérdida de metales en el caldo (%)
		Tiempo inicial (hora 0)	Después de 120 horas	
Plomo	<i>Dechloromonas</i>	408.5	318.0	22.2
	<i>aromatica</i>			
	<i>Pseudomonas</i>	406.2	316.5	22.1
	<i>aeruginosa</i>			

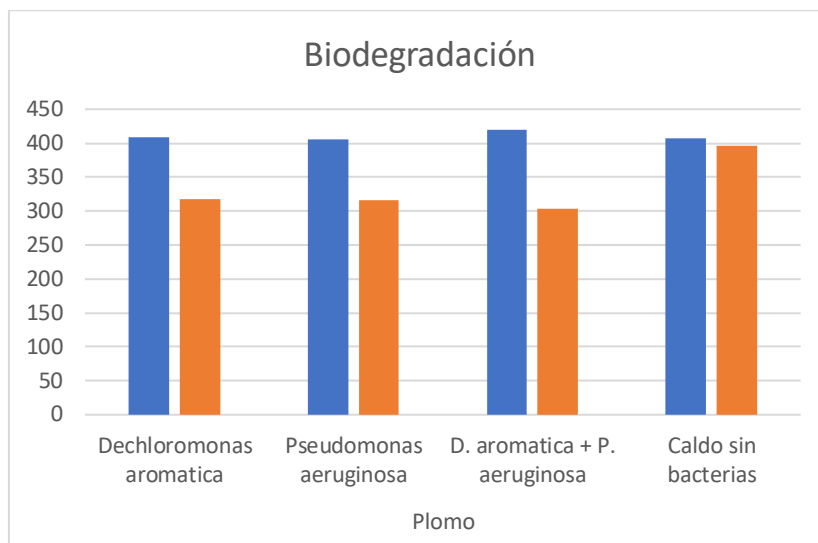
Cadmio	<i>D. aromatica</i> + <i>P. aeruginosa</i>	419.0	303.5	27.6
	Caldo sin bacterias	407.5	396.3	2.7
	<i>Dechloromonas aromatica</i>	421.5	330.0	21.7
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	401.0	311.5	22.3
	<i>D. aromatica</i> + <i>P. aeruginosa</i>	415.5	301.0	27.6
	Caldo sin bacterias	411.5	398.5	3.2

Nota: Autores (2023)

Pérdida Porcentual de Plomo

En el matraz inoculado con *Dechloromonas aromatica*, el contenido inicial de zinc a la hora 0 fue de 408.5 mg/L. Tras 120 horas, el contenido de metal se redujo a 318 mg/L, lo que representó una pérdida del 22.2% en el contenido de plomo. En otro matraz inoculado con *Pseudomonas aeruginosa*, el contenido de metal disminuyó de 406.2 mg/L a 316.5 mg/L (una pérdida del 22.1%). Los consorcios bacterianos que contenían una combinación de *D. aromatica* + *P. aeruginosa* mostraron una pérdida de concentración de plomo aún mayor (27.6%). La eficacia de las bacterias en la acumulación del contenido de metal en el caldo se corroboró mediante el porcentaje de pérdida registrado en el matraz sin la presencia de bacterias. En este último, donde no se realizó la inoculación bacteriana, solo se observó una pérdida del 2.7% de metal. Se realizó un análisis estadístico para evaluar la significancia entre las dos muestras. El estudio reveló que existía una diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de pérdida entre el caldo con consorcios bacterianos y el caldo sin la inoculación de bacterias después de 120 horas.

Figura 1
Biodegradación de Plomo

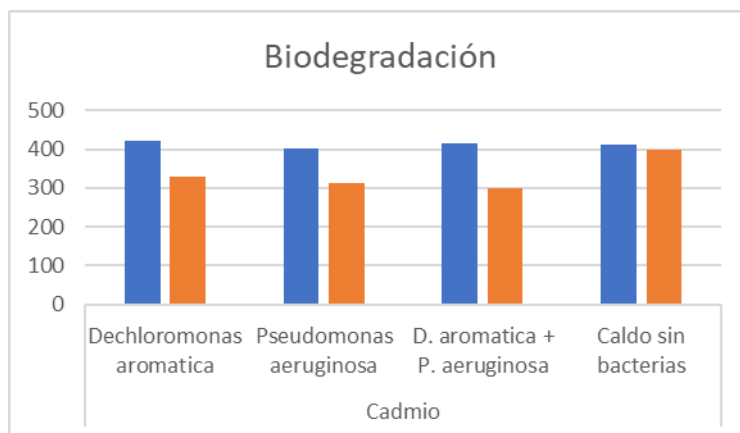


Nota: Autores (2023)

Pérdida Porcentual de Cadmio

El contenido inicial de hierro a la hora 0 fue de 421.5 mg/L en el matraz inoculado con *Dechloromonas aromatica*. Después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 330 mg/L, lo que representó una pérdida del 21.7% en el contenido de cadmio. En otro matraz inoculado con *Pseudomonas aeruginosa*, el contenido de metal disminuyó de 401.0 mg/L a 311.5 mg/L (una pérdida del 22.31). Los consorcios bacterianos que contenían una combinación de *D. aromatica* + *P. aeruginosa* mostraron una pérdida de concentración de cadmio comparativamente mayor. A partir de una concentración inicial de 401.0 mg/L, el contenido de cadmio se redujo a 311.5 mg/L, lo que representó casi un 22.3% de pérdida. La eficacia de las bacterias en la acumulación del contenido de metal en el caldo se corroboró mediante el porcentaje de pérdida registrado en el matraz sin la presencia de bacterias. En este último, donde no se realizó la inoculación bacteriana, solo se observó una pérdida del 3.2% de metal. Un estudio estadístico reveló que existía una diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de pérdida entre el caldo con consorcios bacterianos y el caldo sin la inoculación de bacterias después de 120 horas.

Figura 2
Biodegradación de Cadmio



Nota: Autores (2023)

Biodegradación de Metales Pesados en Muestras de Agua Utilizando Consorcios Microbianos

Punto 1. Comunidad Chimborazo

La eficacia de los consorcios microbianos en la acumulación del contenido de metal se confirmó mediante el cálculo del porcentaje de pérdida entre las muestras tomadas a la hora 0 y las muestras tomadas a la hora 120. En el caso del plomo, el contenido inicial a la hora 0 fue de 2.6 mg/100 ml en el consorcio *D. aromatica + P. aeruginosa*, y después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 1.8 mg/100 ml, lo que representó una pérdida del 30.77% en el contenido de metal. Para el cadmio, el contenido a la hora 0 fue de 1.5 mg/100 ml, y después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 1.1 mg/100 ml, lo que representó una pérdida del 26.67% en el contenido de cadmio.

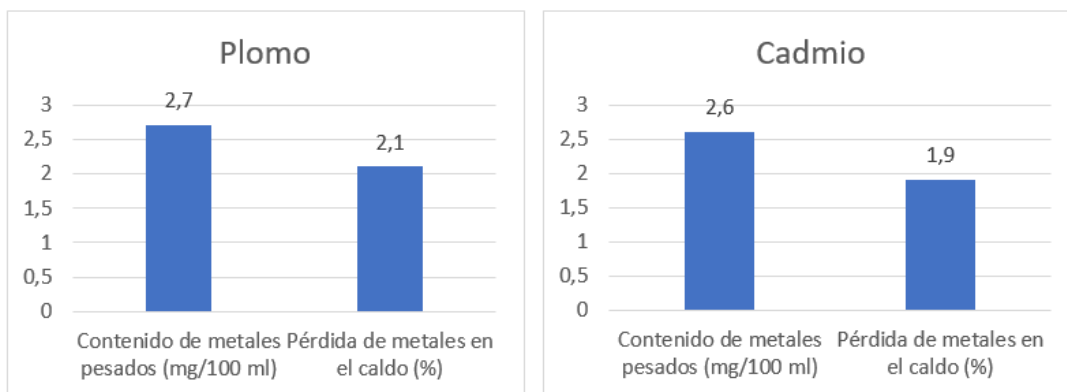
Los resultados de la degradación de cada metal en Punto 1. Comunidad Chimborazo se presentan en la Tabla 8 en términos de porcentaje.

Tabla 8
Degradación Porcentual del metal Punto 1 Comunidad Chimborazo

Tipo de metal pesado en la muestra de agua del lago	Tipo de bacteria inoculada en el caldo con metales	Contenido de metales pesados (mg/100 ml)		Pérdida de metales (%)
		0 horas	120 h	
		Plomo	<i>D. aromatica + P. aeruginosa</i>	
Cadmio	<i>D. aromatica + P. aeruginosa</i>	1.5	1.1	26.67

Nota: Autores (2023)

Figura 3
Contenido plomo y cadmio Comunidad Chimborazo



Nota: Autores (2023)

Punto 2. Parroquia San Juan

La efectividad de los consorcios microbianos en la acumulación del contenido de metales se confirmó mediante el cálculo del porcentaje de pérdida entre las muestras tomadas a la hora 0 y las muestras tomadas a la hora 120. El contenido inicial de plomo a la hora 0 fue de 3.6 mg/100 ml en el consorcio *D. aromatica + P. aeruginosa*, y después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 2.5 mg/100 ml, lo que representó una pérdida del 21.88% en el contenido de plomo. En el caso del cadmio, el contenido inicial a la hora 0 fue de aproximadamente 2.1

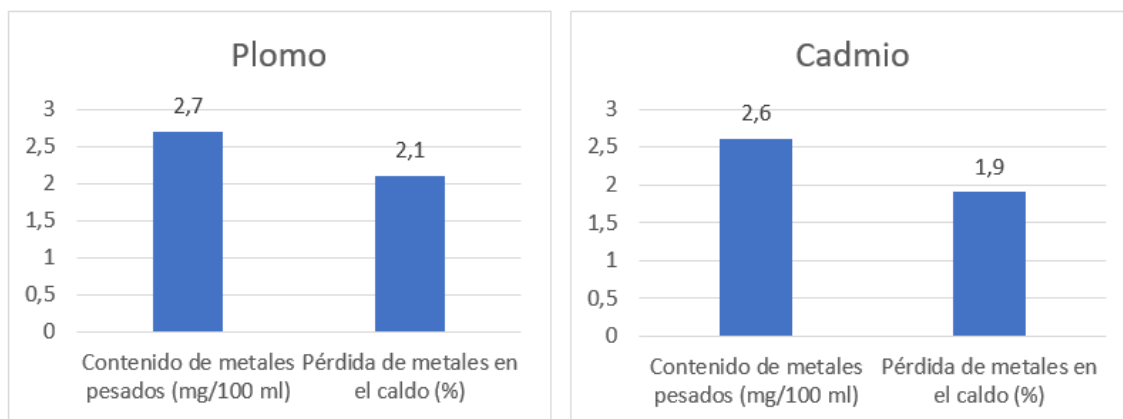
mg/100 ml, y después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 1.7 mg/100 ml. De acuerdo con el cálculo, la degradación porcentual se registró como una pérdida del 19.05% en el contenido de cadmio. Los resultados de la degradación de cada metal en el Punto 2. Parroquia San Juan se presentan en la Tabla 9 en términos de porcentaje.

Tabla 9
Degradación Porcentual del metal Punto 2. Parroquia San Juan

Tipo de metal pesado en la muestra de agua del lago	Tipo de bacteria inoculada en el caldo con metales	Contenido de metales pesados (mg/100 ml)		Pérdida de metales (%)
		0 horas	120 h	
		Plomo	<i>D. aromatica + P. aeruginosa</i>	
Cadmio	<i>D. aromatica + P. aeruginosa</i>	2.1	1.7	19,05

Nota: Autores (2023)

Figura 4
Contenido plomo y cadmio Parroquia San Juan



Nota: Autores (2023)

Punto 3 Sector Puente CESA Riobamba, Vía a Yaruquies

La efectividad de los consorcios microbianos en la acumulación del contenido de metales se confirmó mediante el cálculo del porcentaje de pérdida entre las muestras tomadas a la hora 0

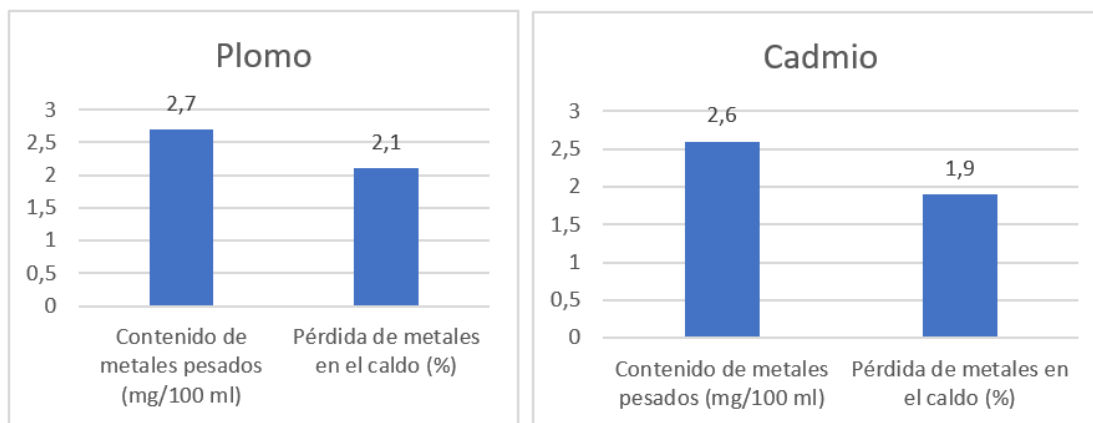
y las muestras tomadas a la hora 120. En el caso del plomo, el contenido inicial a la hora 0 fue de 3.4 mg/100 ml en el consorcio *D. aromatica* + *P. aeruginosa*, y después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 2.4 mg/100 ml, lo que se registró como una pérdida del 29.41% en el contenido de plomo. Para el cadmio, el contenido inicial a la hora 0 fue de aproximadamente 2.2 mg/100 ml, y después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 1.4 mg/100 ml. De acuerdo con el cálculo, la degradación porcentual se registró como una pérdida del 36.6% en el contenido de cadmio. Los resultados de la degradación de cada metal en el Punto 3 Sector Puente CESA Riobamba, Vía a Yaruquies se presentan en la Tabla 10 en términos de porcentaje.

Tabla 10
Degradación Porcentual del metal Punto 3 Sector Puente CESA Riobamba, Vía a Yaruquies

Tipo de metal pesado en la muestra de agua del lago	Tipo de bacteria inoculada en el caldo con metales	Contenido de metales pesados (mg/100 ml)		Pérdida de metales (%)
		0 horas	120 h	
Plomo	<i>D. aromatica</i> + <i>P. aeruginosa</i>	3,4	2,4	29,41
Cadmio	<i>D. aromatica</i> + <i>P. aeruginosa</i>	2,2	1,4	36,36

Nota: Autores (2023)

Figura 5
Contenido plomo y cadmio Sector Puente CESA Riobamba, Vía a Yaruquies



Nota: Autores (2023)

Punto 4. Descarga rio Chibunga a rio Chambo

La eficacia de los consorcios microbianos en la acumulación del contenido de metales se confirmó mediante el cálculo del porcentaje de pérdida entre las muestras tomadas a la hora 0 y las muestras tomadas a la hora 120. El contenido inicial de plomo a la hora 0 fue de 2.7 mg/100 ml en el consorcio *D. aromatica* + *P. aeruginosa*, y después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 1.9 mg/100 ml, lo que se registró como una pérdida del 22.22% en el contenido de plomo. En el caso del cadmio, el contenido inicial a la hora 0 fue de 2.6 mg/100 ml, y después de 120 horas, el contenido de metal se redujo a 1.9 mg/100 ml. De acuerdo con el cálculo, la degradación porcentual se registró como una pérdida del 26.92% en el contenido de cadmio. En la Tabla 11, se presenta la degradación de cada metal en el Punto 4. Descarga rio Chibunga a rio Chambo expresada en términos de porcentaje.

Tabla 11

Degradación Porcentual del metal Punto 4. Descarga rio Chibunga a rio Chambo

Tipo de metal pesado en la muestra de agua del lago	Tipo de bacteria inoculada en el caldo con metales	Contenido de metales pesados (mg/100 ml)		Pérdida de metales (%)
		0 horas	120 h	
Plomo	<i>D. aromatica</i> + <i>P. aeruginosa</i>	2,7	2,1	22,22
Cadmio	<i>D. aromatica</i> + <i>P. aeruginosa</i>	2,6	1,9	26,92

Nota: Autores (2023)

Conclusión

Este estudio se enfoca en evaluar la eficacia de las bacterias, ya sea de forma individual o en combinación, en la reducción o acumulación de metales pesados en una solución de caldo. Se

observó una disminución significativa de las concentraciones iniciales de metales pesados hasta alcanzar niveles finales en comparación con el caldo que no contenía bacterias inoculadas.

Los resultados del estudio resaltan el papel importante que desempeñan los consorcios bacterianos, en particular la combinación de *D. aromatica* y *P. aeruginosa*, en la reducción de los contenidos de metales pesados. Esta combinación logró una reducción máxima del 30.77%. Además, se observó que la eficiencia de la acumulación o degradación de metales pesados en estas bacterias varió entre el 19.5% y el 30.77% en las muestras de agua recolectadas en cinco ubicaciones diferentes.

El estudio sugiere que optimizar las condiciones de crecimiento bacteriano para la degradación o acumulación de metales en aguas de diferentes características, incluyendo aguas residuales, podría ofrecer una solución prometedora para abordar la contaminación por metales pesados en el medio ambiente en un futuro cercano.

Este tipo de investigación es valiosa ya que arroja luz sobre la capacidad de las bacterias para desempeñar un papel en la reducción de la contaminación por metales pesados, lo que tiene implicaciones importantes para la protección del medio ambiente y la salud humana.

Referencias bibliográficas

- Akhtar, M. S., Chali, B., & Azam, T. (2013). Bioremediation of Arsenic and Lead by Plants and Microbes from Contaminated Soil. *Research in Plant Sciences*, 1(3), 68–73. <https://doi.org/10.12691/plant-1-3-4>
- Alzate Luisa. (2021). Diseño E Implementación De Un Algoritmo Para La Identificación De Comunidades Microbianas Con Potencial Uso En La Biorremediación De Ríos Contaminados Con Cromo (Vi). *Universidad El Bosque*, Vi.
- Ambiente, T. T. unificado de legislación secundaria del M. del. (2011). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. *TULAS Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente*, 8–9.
- Batallas Valarezo, M., Preciado Alvarado, M., & Pesantez Franco, F. (2021). Evaluación de cadmio y plomo en almendras de cacao por espectroscopia de absorción atómica. *Ciencia Unemi*, 14(37), 49–59. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss37.2021pp49-59p>

- Bose, S. K., & Chakraborty, U. C. (1957). Resolutions Adopted at the General Session of the VIII All India Pediatric Conference at Vellore on the 21st December, 1956. *The Indian Journal of Pediatrics*, 24(1), 14. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Casanova-Villalba, C. I. (2022). Desafíos en el crecimiento empresarial en Santo Domingo: Un análisis de los factores clave en el periodo 2021-2022. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(3). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n3/53>
- Casanova-Villalba, C. I., Proaño-González, E. A., Macias-Loor, J. M., & Ruiz-López, S. E. (2023). La contabilidad de costos y su incidencia en la rentabilidad de las PYMES. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/59>
- González, E., Ahumada, R., Medina, V., Neira, J., & González, U. (2004). Espectrofotometría de absorción atómica con tubo en la llama: aplicación en la determinación total de cadmio, plomo y zinc en aguas frescas, agua de mar y sedimentos marinos. *Química Nova*, 27(6), 873–877. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422004000600006>
- Gualoto, M., & Oña, T. (2022). “La Biodiversidad al Servicio del Ambiente.” 433. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12831/1/libro biorremediación final COMPRIMIDO.pdf
- Hansen, A. M. (1992). *Competencia de iones mayores en la migración química de cadmio y plomo en sedimentos del lago de Chapala, México*.
- Herrera-Sánchez, P. J., & Mina-Villalta, G. Y. (2023). Riesgos de la mala higiene de los equipos quirúrgicos. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/63>
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76–88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Salazar-Villegas, B., Lopez-Mallama, O. M., & Mantilla-Mejía, H. (2023). Historia de la Salud en Colombia: del Periodo Precolombino a el Periodo Higienista 1953. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(3). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n3/69>
- S. E. Pabón, R. Benítez, R. A. Sarria-Villa, & J. A. Gallo. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18.
- Veloz, N., & Carbonel, C. (2018). Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga-Ecuador en variaciones estacionales, periodo 2013- 2017. *Revista Del Instituto de Investigaciones de La Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 21(42), 13–26.
- Vista de Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador.pdf*. (n.d.).
- Zarazúa, G., Ávila, P., Tejeda, S., Valdivia, M., Zepeda, C., & Macedo, G. (2013). Evaluación de los metales pesados cr, mn, fe, cu, zn y pb en sombrero de agua (. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 29, 17–24.