



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Fitorremediación de metales pesados como Cd y Pb
asistida por microorganismos”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
Bachiller en Ingeniería Ambiental**

AUTOR:

Vivas Garcia, Maryori Xiomara (ORCID: 0000-0002-9881-9940)

ASESOR:

Mg. Garzón Flores, Alcides (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a Dios, mi familia y las personas que siempre confiaron en mí, a la vez hacer mención a mi abuelo por siempre apoyarme hasta el último en esta etapa de superación y aprendizaje.

AGRADECIMIENTO

En esta oportunidad hago mención a mi familia, amigos y la Universidad César Vallejo en agradecimiento por todos los logros obtenidos, al igual que en esta investigación.

Índice

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice.....	iv
Índice de tabla	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	4
II. MÉTODO	9
2.1. Recolección de información:	9
2.2. Procesamiento y análisis de datos:.....	10
2.3. Escenario de Estudio	11
2.4. Aspectos Éticos:.....	12
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
Tabla N°1: Cuadro de respuestas.....	13
IV. CONCLUSIONES.....	15
V. RECOMENDACIONES.....	15
REFERENCIAS.....	17
ANEXOS	24

Índice de tabla

Tabla N°1: Cuadro de respuestas	13
--	----

RESUMEN

Este estudio tiene el fin de analizar la fitorremediación con microorganismos en suelos contaminados con metales pesados como Cd y Pb, en la cual estos son elementos sumamente tóxicos, por ello se busca evaluar este método; además que en los últimos años ha sido estudiado a mayor profundidad debido al impacto positivo que esta puede tener en cuanto a remediación de suelos con metales pesados, también se la considera factible debido a su capacidad de remover elementos tóxicos y donde la fuente principal de remediación nos la brinda la misma naturaleza. El estudio es de tipo aplicada con un diseño de investigación narrativo y enfoque cualitativo, donde se tuvo que analizar, describir y evaluar las investigaciones que se tomó como referencias para así poder generar enfoques significativos y coherentes en cuanto al estudio propuesto. Se obtiene como resultados que la fitorremediación con microorganismos es un método eficiente en remediación de suelos contaminados con Cd y Pb, además de ser una técnica sumamente amigable con el medio ambiente, rentable en cuanto a costos y eficiente en remover metales pesados a gran escala. Por ello se concluye que el estudio de fitorremediación de metales pesados como Cd y Pb asistida con microorganismos es una técnica adecuada, rentable, accesible y eficiente puesto que contribuye a la conservación ambiental en beneficio de la sociedad.

Palabras claves: Fitorremediación, metales pesados, cadmio, plomo, microorganismos.

ABSTRACT

This study has the purpose of analyzing the phytoremediation with microorganisms in soils contaminated with heavy metals such as Cd and Pb, in which these are highly toxic elements, for this reason it seeks to evaluate this method; In addition, in recent years it has been studied in greater depth due to the positive impact that it can have in terms of remediation of soils with heavy metals, it is also considered feasible due to its ability to remove toxic elements and where the main source of remediation nature itself gives it to us. The study is of an applied type with a narrative research design and qualitative approach, where it was necessary to analyze, describe and evaluate the research that was taken as references in order to generate meaningful and coherent approaches regarding the proposed study. The results are that phytoremediation with microorganisms is an efficient method in remediation of soils contaminated with Cd and Pb, in addition to being a highly environmentally friendly technique, profitable in terms of costs and efficient in removing heavy metals on a large scale. Therefore, it is concluded that the study of phytoremediation of heavy metals such as Cd and Pb assisted with microorganisms is an adequate, profitable, accessible and efficient technique since it contributes to environmental conservation for the benefit of society.

Keywords: Phytoremediation, heavy metals, cadmium, lead, microorganisms.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente profundizar en los problemas de contaminación ambiental es entrar a un sinnúmero de factores y sucesos de contaminación, donde no solamente un factor es especial sino en la relación que se da dentro de un recurso como agua, aire y suelo, siendo estos componentes receptores fundamentales. Adentro del grupo que abarca a los problemas ambientales de nuestro país se tiene una dificultad que está en nuestros días, donde se evidencia en la mayor parte de nuestra región y es motivo de preocupación ya que están afectando ecosistemas; y esta es la contaminación de nuestros suelos con metales pesados.

Existe una gran contaminación de suelos debido a la minería, en la cual contaminan con metales sumamente peligrosos y no teniendo una explotación de recursos responsable, provocando así un desgaste de suelo. El enorme consumo del capital natural hoy en día es parte de la preocupación ambiental, si no se realiza una variación en el modo de explotación y manipulación de dicho capital, los problemas ambientales serán ineludible, irremediable y sus consecuencias graves (Bernal, Clemente, Vásquez y Walker, 2007, p.68).

Algunas minerías son consideradas ahora como pasivos medioambientales, donde estas resultan un peligro significativo en la salud del pueblo aledaño y el medio ambiental, además que el uso inapropiado de los residuos de metales pesados puede crear impactos ambientales a larga duración y de forma vigorosa, tanto así que puede ser difícil y costosa remediarla. La minería es fundamental para la economía del país, sin embargo, se ha dado casos a una gran cantidad de minas desechadas o sin uso (pequeña, regular y grande) y muchas de estas dejan a los suelos infértiles dando así una contaminación endógena. (Pizarro, et-al, 2016, p.2)

Desde hace más de 20 años la biodiversidad y el papel fundamental de los ecosistemas toma cada vez más seguido una gran importancia a nivel mundial. Por

ello los periodistas, científicos comienzan a utilizar términos como servicios ecosistémicos y capitales naturales, sin embargo, fue desde entonces sobre la preocupación del calentamiento global y sus consecuencias devastadoras. Por eso se reconoce el valor entre la ecología y la economía, donde estas son fundamento esencial para analizar el actual cambio climático, tal como la formulación de probables alternativas de remediación. (Bernal et al., 2007, p.67)

Por ello después de lo dicho anteriormente, la pregunta principal de este trabajo de investigación será:

¿Cómo es la fitorremediación de metales asistida por microorganismos en suelos contaminados con Cd y Pb?; para una alternativa sustentable? y como problemas específicos: ¿Cuál es técnica más adecuada para remediación de metales pesados en Cd y Pb?, ¿Cómo se obtendría un método rentable y accesible? y ¿Cuáles son los beneficios de los resultados a obtener?

Por ello se busca identificar métodos de remediación donde en este proyecto de investigación se destaca la fitorremediación, dado el gran consumo y problemas de explotación de recursos naturales, se ha tomado medidas.

Este método se ha vuelto muy factible y accesible ya que los avances de la tecnología buscan reparar medios contaminados con metales donde ha llevado al incremento de soluciones que se basen en el uso de organismos con el fin de restaurar o prevenir los problemas generados de manera antropogénica en la cual perturba la estabilidad o fortaleza de los distintos ecosistemas de la sociedad (Batista y Sánchez, 2009, p.2).

En este sentido el uso de técnicas biológicas naturales o enriquecido genéticamente para degradar, modificar o suprimir materias peligrosas orgánicas e inorgánicas presentes en el agua, aire y suelos. Estos avances tecnológicos permitirían que la acumulación del contaminante sea no detectable o estén por debajo de los límites permisibles de las entidades de Control del Medio Ambiente (Batista y Sánchez, 2009, p.2).

Se busca promover una alternativa de remediación a la contaminación de suelos donde esta sea amigable con el ambiente. La propuesta de fitorremediación de metales asistida por microorganismos, se fundamenta para contrarrestar la contaminación de estos contaminantes en suelos, debido a la problemática de la minería dentro de la humanidad.

La proposición de métodos de fitorremediación con microorganismos presenta índices elevados de efectividad para contrarrestar la adsorción de elementos nocivos en suelos, tales como metales pesados. La propiedad de adsorción de estos microorganismos los cuales son accesibles y de gran potencial se deriva de las propiedades con las que cuentan para remediar suelos, lo cual representa un gran beneficio económico y ambiental (Amaya, Bazán, Rueda y Solano, 2018, p.28).

Desde el punto metodológico, este proyecto justifica su metodología y los objetivos propuestos que se plantea, tanto así que la adaptabilidad de información contrarrestada sea exquisita como fines de lograr una investigación adecuada a la realidad, además que fomenta a la disminución de contaminación de nuestro planeta, donde cabe rescatar que favorece la salud y contribuye a una remediación amigable con el ambiente al ser un método rentable y eficiente.

Las poblaciones microbianas tienen un importante impacto en este método ya que afectan su movimiento y captura del metal en la planta por la descarga de reacciones Redox, solubilización de fosfatos, acidificación de suelo y agentes quelantes; puesto que generan fitohormonas que fomenta el desarrollo vegetal. La interrelación establecida entre el metal presente en el suelo, las plantas que son súper acumuladoras y el microbiota de estos ecosistemas son examinados a profundidad en el ámbito de las biotécnicas ambientales, con la finalidad de llevar a cabo procedimientos accesibles de restauración, destoxificación o remoción de metales pesados (Batista y Sánchez, 2009, p.4).

Estas fitociencias presentan abundantes ventajas en correlación con los tratamientos fisicoquímicos, ya que actualmente se emplean (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez y Acevedo, 2011, p.597).

Esta investigación pretende ser evaluada en distintos aspectos de comparación de tipos de remediación siendo así por plantas específicas, hongos, entre otros factores; en la cual son empleadas en el mundo para la eliminación o extracción de metales pesados, lo cual sería de gran utilidad para distintos lugares del sector minero o entre otros y así poder emplear el que mejor se disponga o favorece al ambiente en la contaminación de metales pesados, además se plantea como objetivo general analizar la fitorremediación de metales como Cd y Pb asistida por microorganismos como una alternativa sustentable y sus objetivos específicos:

Identificar la técnica más adecuado para la remediación de metales pesados como el Cd y Pb; proponer un método rentable y accesible como la fitorremediación con microorganismos y examinar los beneficios de los resultados de las revisiones realizadas.

1.1. ANTECEDENTES

- Muhammad Ashraf, Iqbal Hussain, Rizwan Rasheed, Muhammad Iqbal, Muhammad Riaz y Muhammad Arif (2017), quienes tienen como investigación "*Avances en la recuperación de metales pesados asistida por microbios en suelos contaminados en la última década: una revisión*", plantea como objetivo disminuir los riesgos para la salud entorno en donde se encuentran los metales pesados, además de promover la mejora de la fitorremediación en metales pesados a través de una tecnología emergente donde las plantas promueven y a la vez se utilizan rizobacterias para que los metales pesados se vuelvan solubles y biodisponible el lugar contaminado. Tiene como metodología la inoculación de cepas bacterianas *PGP*, donde concluye que estos

microorganismos poseen un gran potencial para la mejora del crecimiento de plantas y así acelerar la fitorremediación de metales ya que la extracción fitobacteriana elimina metales pesados de forma segura sin generar ningún efecto tóxico al ambiente.

- Muhammad Rizwan, Shafaqat Ali, Muhammad Zia, Jorg Rinklebe, Daniel CW Tsang, Arooj Bashir, Arosha Maqbool, FMG Tack y Yong Sik Ok (2018), desarrollan como tema “*Potencial de Fitorremediación de Cadmio de especies de cultivo de Brassica: una revisión*”, tienen como objetivo resaltar los efectos del Cadmio en las diferentes especies de *Brassica*, la toxicidad del Cadmio y sus mecanismos de tolerancia de las especies utilizadas y como estas pueden afectar las estrategias de fitomanipulación de Cd en suelos contaminados con cultivos de especies *Brassica*. Se emplea la metodología de la fitoextracción y acumulación de cadmio a través de los cultivos de especies *Brassica* como: *B. juncea*, *B. oleracea*, *B. carinata* y *B. napus*. Así pues, concluye que las especies utilizadas pueden tolerar el estrés del Cd a través de distintos mecanismos, sin embargo, supera el sistema de defensa y puede causar estrés oxidativo en las especies de *Brassica* debido a la sobreproducción de especies reactivas, por ello sugieren la combinación de *Brassica* tolerante al Cd y la aplicación de enmiendas en el suelo junto con prácticas agrícolas especializadas para hacer más eficiente la fitoextracción de Cd.
- Ying Ma, Mani Rajkumar, Chang Zang y Helena Freitas (2016), tienen como temática “*Papel beneficioso de los endófitos bacterianos en metales pesados Fitorremediación*”, plantea como objetivo revisar el progreso de investigación sobre el aislamiento, identificación y diversidad de bacterias endofíticas resistentes a los metales pesados; además cuenta como metodología una fitoacumulación, biosorción, captación y

translocación de metales, siendo así que concluye que las bacterias endofíticas mejoran el crecimiento de las plantas en suelos contaminados con metales en el caso de: 1. Directamente produciendo sustancias beneficiosas para el crecimiento de las plantas, incluida la solubilización y 2. Indirectamente a través del control de patógenos de plantas, donde esta altera la capacidad de acumulación de metal en plantas.

- Zhi-Bin Luo, Jiali He, Andrea Polle y Heinz Rennenberg (2016). Su presente investigación tiene como título “*Acumulación de metales pesados y transducción de señales herbáceas y plantas leñosas: allanando el camino para mejorar la eficiencia de la Fitorremediación*”, plantea como objetivo informar el progreso en la comprensión de mecanismos biológicos y moleculares subyacente a la captación de metales pesados, transporte y desintoxicación en plantas herbáceas y leñosas. Tiene como metodología la fitoextracción; donde concluye que las plantas leñosas de rápido crecimiento tienen ventaja sobre las plantas herbáceas para la acumulación de altas cantidades de metales pesados en su gran biomasa.
- Lianwen Liu, Wei Li, Weiping Song y Mingxin Guo (2018). Su presente tema se titula “*Técnicas de remediación para suelos contaminados con metales pesados: principios y aplicabilidad*”; tiene como objetivo esta investigación revisar con cautela las técnicas de remediación disponibles para metales pesados en suelos contaminados en términos de sus principios de funcionamiento, procedimientos técnicos, aplicabilidad, ventajas y limitaciones. Por ello concluye que la remediación del suelo in situ es más rentable que la ex, además que el tratamiento in situ y la extracción de contaminantes es más favorable que la inmovilización y la contención entre las técnicas disponibles de remediación, los estudios

de tratabilidad son cruciales para seleccionar las técnicas viables para una recuperación.

- Sana Ashraf, Qasim Ali, Zahir Ahmad, Sobia Ashraf y Hafiz Naeem (2019), desarrollan como investigación “*Fitorremediación: forma ambientalmente sostenible para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados*”, donde tiene como objetivo analizar diferentes estrategias para mejorar la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo. En síntesis, existe tipos de fitorremediación, pero la que está más aceptada es la fitoextracción, donde además este método de remediación de suelos contaminados con metales pesados es una herramienta confiable y necesaria para hacer el recurso de tierra accesible.
- Jun Shen, Songshuo Li, Bin Xu, Cuizhu Su, Quiyue Jiang, Chenhao Zhou, Qing Jin, Yu Zhao y Ming Xiao (2017), realizan como tema “*Caracterización de Burkholderia sp. XTB-5 para fenol, degradación y promoción del crecimiento vegetal y su aplicación en biorremediación de suelo contaminado*”, plantea como objetivo detectar varias bacterias para identificar a aquellos con las habilidades para promover el crecimiento de las plantas y degradar fenol para luego usar estas bacterias para luego preparar fertilizantes microbianos y así aumentar la producción de cultivos u proteger a las plantas de la toxicidad del fenol, tiene como metodología la biorremediación, donde concluye que más del 90% del fenol se redujo en 20 días cuando *Burkholderia sp. XTB-5* y las plantas se introdujeron al suelo natural . Adicionalmente la cepa *XTB-5* promovió el crecimiento de las plantas en suelos ausentes de fenol y en suelo enriquecido con fenol bajo condiciones de invernadero. Por lo tanto, *Burkholderia sp. XTB-5* presenta atractivos microorganismos para la remediación ambiental y agronómica.

- Pizarro Roberto, Flores Juan, Tapia Jaime, Valdes Rodrigo, Gonzalez David, Morales Carolina, Sanguesa Claudia, Balocchi Francisco y León Lastenia (2015), su investigación tiene como título “*Especies forestales para la recuperación de suelos contaminados con cobre debido a actividades mineras*”, tiene como objetivo determinar y comparar la suficiencia de la fitoestabilización de especies vegetales nativas y exóticas en áreas de contaminación por actividad minera, en su metodología usó un total de 20 especies, donde se seleccionó solo 3 de ellas debido a las mejores tasas de supervivencia en el tratamiento, sin embargo se concluye que solo una fue la que obtuvo mejores resultados y con una supervivencia mayor del 80%, donde esta es la *Acacia saligna* debido a la mejor capacidad de acumulación de metales pesados y para actividades de fitoestabilización en relaves mineros.
- Madariaga Alfredo, Rodriguez Blanca, Villagomez Jose, Acevedo Otilio, Perry Gregory e Islas Margarita (2017), tienen como investigación “*Modelo de biorremediación para suelos agrícolas contaminados con atrazina utilizando Fitorremediación (usando Phaseolus vulgaris L.) y una adaptación local consorcio microbiano*”, tiene como objetivo examinar un modelo biológico en condiciones de invernadero para biorremediación de suelos contaminados con atrazina, su metodología consistió en una combinación de Fitorremediación usando *Phaseolus vulgaris L.* y bioaumentación rizóferica usando *Trichoderma sp.* Nativo y *Rhizobium sp.*, se realizó 4 tratamientos donde se concluye que el frijol (C) *Trichoderma sp.* (BCT) eliminó 76% de 25.51 mg de atrazina y 50 mg de suelo, esto indica que el modelo biológico y la metodología propuesta es útil para suelos agrícolas de biorremediación contaminados con atrazina donde puede contribuir a reducir los efectos del abuso de agroquímicos.

- Pino Nancy, Muñera Luisa y Peñuela Gustavo (2016), tienen como investigación “*Bioaugmentación con microorganismos inmovilizados para mejorar Fitorremediación de suelos contaminados con PCB*”, cuenta como objetivo de estudio evaluar el efecto de bioaugmentación por cepas libres e inmovilizadas de consorcio microbiano de suelos contaminados con bifenilo policlorado (PCB), se utiliza 4 especies como: *Avena sativa*, *Brachiaria decumbens*, *Brassica juncea* y *Medicago sativa*, además se utilizaron como portadores a el alginato y el biochar. Se obtuvo como conclusión que la reacción del inculo microbiano sobrevivió cuando se inmovilizó usando alginato y biochar sin diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, los porcentajes de eliminación de PCB fueron obtenidos con biochar lo cual demostró un efecto positivo en la actividad microbiana.

II. MÉTODO

2.1. Recolección de información:

La recolección de información se basó en buscar investigaciones ya concluidas de fuentes confiables y acreditadas, en este caso artículos científicos en la cual fueron fundamentales para la investigación de este proyecto de investigación, cabe hacer mención que para una comprensión profunda de los significados y definiciones de un estudio se caracteriza en ser multidisciplinaria, imprescindible en la inclusión del ámbito subjetivo y de las experiencias ya dadas, esta también requiere evidencias e interpretación admisible, por ello se fundamenta que la recolección de datos deben ser verdaderos y comprobadas en investigaciones.

La recolección de datos o experiencias de investigaciones de interés propio son analizadas y descritas con el objetivo de evaluar acontecimientos. Por ello este estudio a través de investigaciones ya realizadas se analizó, evaluó y describió conocimientos para así poder generar enfoques significativos y conceptos en este trabajo de investigación. Cabe hacer mención que la información obtenida son calificadas como acreditadas donde se fundamenta que son aptas para dar solución a posibles problemas que se pueda dar, por ello son esenciales ante la humanidad para dar respuestas, ante esto dichas investigaciones fueron evidenciadas y cuentan con una interpretación admisible.

2.2. Procesamiento y análisis de datos:

Esta investigación es de tipo aplicada en la cual Murillo (2008) la caracteriza como la búsqueda de la utilización de conocimientos ya adquiridos además que busca la generación de conocimientos con una aplicación directa a los problemas de la sociedad, donde esta contribuya para el mejoramiento de futuras investigaciones y sea contrbuida como alternativa de solución o fundamento antes posibles problemas ocasionados por la sociedad.

El diseño de la investigación es narrativo con un enfoque cualitativo, en la cual según Salgado (2007) el diseño narrativo tiende a recolectar datos de interes propia para así poder analizarlos y describirlos. Mientras para Jimenez y Dominguez (2000) donde conceptualiza al enfoque cualitativo como una comprensión profunda de los significados de una situación. Por ello este estudio es de diseño narrativo en la cual se analizo y describió conocimientos para así poder generar conceptos significativos y concretos en esta investigación.

El procesamiento de los datos fueron obtenidos mediante revistas acreditadas y mayormente extranjeras, donde estas son catalogados como fuentes confiables y realmente analizados en cuanto a sus investigaciones realizadas, por ello el análisis de los datos que se obtuvo mediante estas investigaciones realizadas, se basó de acuerdo al requerimiento de esta investigación y a la vez donde sean significativos en respuesta a los objetivos planteados en este trabajo de investigación.

2.3. Escenario de Estudio

En este trabajo de investigación el escenario de estudio abarca de acuerdo a la zona de impacto ocasionados por los metales, donde esta es mayormente en el rubro minero, ya que sus suelos son explotados día a día en beneficio de estas plantas mineras y donde contribuyen a la economía del país.

Cabe hacer mención que la minería es parte esencial y fundamental en la contribución económica de nuestro país; por consiguiente, es esencial su rubro, pero eso no significa que demos explotarlo sin ningún manejo adecuado al contrario teniendo una explotación amigable con el ambiente donde tanto ambiente como economía estén equilibrados.

Herrera (2008) cataloga a la minería como un problema serio debido a la alta contaminación de suelos por estos elementos tóxicos, además de ser algo esencial en un país ya que proporciona en la economía de la sociedad.

Hoy en día gran parte de las investigaciones en suelos se basan justamente en remediar estas contaminaciones de las industrias mineras, donde esta investigación también se basa en ello; por ende, se busca emplear la fitorremediación asistida por microorganismos en metales pesados como Cd y Pb que son altamente encontrados en suelos mineros.

2.4. Aspectos Éticos:

El presente trabajo de investigación es veraz y se respetó el código de la ética de investigación de la Universidad César Vallejo, establecidas en las normas por la Resolución del Consejo Universitario N°126 – 2017/UCV siendo esta confidencial y honesta en cuanto a la autenticidad de la información establecida en esta investigación, además que también se empleo en las citas y referencias bibliográficas la Norma ISO 690.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PAÍS	OBJETIVO	RESULTADO
China (Jin et al. 2019)	Evaluar la capacidad de biosorción, isothermas y cinética de Cd y Pb mediante <i>S. chinense QD10</i> y evaluar la mejora de la eliminación de Cd y Pb.	El presente estudio exploró los mecanismos de <i>S. chinense QD10</i> en biosorción de Cd y Pb y demostró su potencial para mejorar el rendimiento de la fitorremediación en sitios contaminados con metales.
China (Xie et al. 2020)	Utilizó <i>CTZ4</i> para mejorar la fitoextracción de Cd del suelo, el factor de bioacumulación de metales (BCF) de <i>A. hipocondríaco L.</i> se analizó el efecto sobre la eficacia de la remediación de Cd.	Los resultados demostraron que la utilización de <i>EBR</i> y <i>CTZ4</i> es un método alternativo para mejorar la eficiencia de fitoextracción de <i>A. hipocondríaco</i> en suelo contaminado con Cd.
China (Liu et al. 2018)	Evaluar el crecimiento de las plantas y la acumulación de plomo; examinar los cambios de	El resultado mostró que después de la fitorremediación los microorganismos tales como <i>Flavisolibacter</i> , <i>Kaistobacter</i> , y

	partición de Pb en el suelo; estudiar la resistencia al plomo microbiano, la respiración y las características de la estructura de la comunidad durante el proceso de suelo contaminado con plomo mediante <i>Trifolium repens L.</i>	<i>Pseudomonas</i> , aumentan en número, convirtiéndose en el género dominante. Este estudio ha proporcionado información sobre la distribución y la actividad de la comunidad microbiana.
Túnez (Chiboub, et al. 2016)	Identificar una bacteria del suelo tolerante al Cd aislada de nódulos de <i>Sulla coronaria</i> cultivada en muestras de suelo contaminado con metales pesados y para formar un sistema simbiótico útil para la fitoestabilización de suelos contaminados con Cd.	Los resultados sugirieron que <i>Sulla coronaria</i> en simbiosis con el consorcio de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) fueron útiles en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd.
Tailandia (Rojjanat eeranaj, Sangthon g y Prapagde e 2017)	Se examinó el potencial de tres cepas de bacterias resistentes al Cd, incluidas <i>Micrococcos sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> y <i>Arthrobacter sp.</i> , para promover el alargamiento de la raíz de <i>Glycine max L.</i> plántulas, solubilidad en suelo de Cd y fitorremediación	Se concluye que la bioaumentación asistida por bioestimulación es una estrategia importante para mejorar la fitorremediación de Cd.

Tabla N°1: Cuadro de respuestas

Se tuvo como resultado un análisis de la fitorremediación de metales pesados como el Cd y Pb, donde se identificó que la técnica más adecuada en cuanto a remediación de estos metales es la fitorremediación con microorganismos, siendo una fuente esencial de solución ante la contaminación de suelos por Cd y Pb. Según Jin et al.

(2019) quien menciona que la fitorremediación con microorganismos es eficiente en contaminación de suelos por metales pesados altamente tóxicos, por ello la considera una técnica adecuado para remediar esos tipos de suelo, sin embargo, para Chiboub, et al. (2016) quien comenta que es una técnica eficiente pero no siempre tendrá los mismos resultados debido a la planta y tipo de bacterias que se pueda emplear, ya que algunas suelen ser tolerantes pero no con la misma capacidad que tal sea una bacteria que tenga el mismo origen donde se da la contaminación.

Además de considerarla una técnica rentable en cuanto a costos y accesible ya que es de fácil empleo, se la propone como un método adecuado a la fitorremediación con microorganismos en suelos contaminados con metales de Cd y Pb. Para Rojjanateeranaj, Sangthong y Prapagdee (2017), Xie et al. (2020) y Liu et al. (2018) plantearon a la fitorremediación con microorganismos como un método de fácil empleo, ya que la disponibilidad de emplearlo es admisible, por ello plantearon en su investigación el estudio de esta técnica y la capacidad de poder corroborar con el ambiente en cuanto a remediación de suelos contaminados por metales pesados altamente tóxicos, comparando con Jin et al. (2019) quien fundamenta que la importancia muy al margen de la capacidad de la técnica, es fundamental lo rentable que pueda hacer, debido a que considera que hoy en día las investigaciones se basan mucho en los costos y al ser rentable puede ser admisible a toda la población sin necesidad de tener una comparación respecto a costos, por ello fundamenta que esa es una de las mejores ventajas de la fitorremediación con microorganismos.

Según los resultados de las investigaciones que se tomó como referencia se corroboro que la efectividad de la fitorremediación con microorganismos en suelos contaminados con metales pesados como Cd y Pb es eficiente, siendo estas uno de sus beneficios al momento de emplearlo ya que los resultados son positivos además de ser un gran contribuidor con el medio ambiente, ya que la técnica es amigable con el ambiente. Por ello Jin et al. (2019), Rojjanateeranaj, Sangthong y Prapagdee (2017), Chiboub, et al. (2016), Liu et al. (2018) y Jin et al. (2019) corroboran con ello

y la consideran adecuada en remediación de suelos contaminados con metales pesados ya que su eficiencia de remover elementos tóxicos es casi en su totalidad, contribuyendo así a una de las tecnologías donde busca contribuir con el medio ambiente.

IV. CONCLUSIONES

- Se concluye que la técnica más adecuada en remediación de suelos contaminados con metales pesados como el Cd y Pb es la fitorremediación con microorganismos debido al potencial fisiológico de las plantas y los microbios donde son capaces de adaptarse y remover elementos tóxicos.
- En esta investigación se propone como método de remediación a suelos contaminados con Cd y Pb a la fitorremediación con microorganismos, donde a esta también se la considera rentable en cuanto a costos y accesible al momento de emplearlo.
- Los beneficios obtenidos de este estudio que es la fitorremediación con microorganismos consisten que es muy benefactor con el ambiente, su capacidad de remover metales pesados como Cd y Pb es eficiente y además que al momento de emplearlo no requiere de una inversión enorme en cuanto a costos ya que la materia prima esencial nos la brinda el medio ambiente.

V. RECOMENDACIONES

- Se debe emplear más esta técnica para remediar suelos contaminados con elementos tóxicos como el Cd y Pb.

- Promover campañas de remediación donde se emplee la fitorremediación con distintos elementos o tipos de bacterias, hongos o plantas.
- Seguir estudiando esta técnica a profundidad, donde en un futuro sea una prioridad en cuanto a remediación de suelos contaminados con metales pesados.

REFERENCIAS

- AMAYA Bejar, A., BAZÁN Paredes, E., RUEDA Feijoó, L., y SOLANO Cruz , A. Capacidad de adsorción de metales pesados por *Saccharomyces cerevisiae* en un efluente minero de Shorey, distrito de Quiruvilca, La Libertad. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Trujillo: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2018, 63 pp.
- BATISTA, Ramón, SÁNCHEZ, Ayixson. Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. La Habana: *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 2009, n° 16, p. 1-6.
Disponibile en <http://ama.redciencia.cu/articulos/16.02.pdf>
ISSN: 1683-8904
- Bernal, M., Clemente, R., Vásquez, S. y Walker, D. Aplicación de la Fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Alnalcóllar. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* [en línea] , vol. 16, n.º2. [Fecha de consulta: mayo 2007].
Disponibile en <https://digital.csic.es/handle/10261/16682>
ISSN: 1697-2473
- BONILLA Valencia, Sara. Estudio para tratamiento de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2013.
Disponibile en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4400/6/UPS-ST000985.pdf>
- Delgadillo, Angélica; González, César; Prieto, Francisco; Villagómez, José y Acevedo, Otilio. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la

contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea]. Mayo-agosto 2011, vol. 14, n°2. [Fecha de consulta: 31 de agosto del 2010].

Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002

ISSN: 1870-0462

- Madera, Carlos; Peña, Enrique y Solarte, Juliana. Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitario. *Ingeniería y Competitividad* [en línea]. Julio-diciembre 2014, vol. 16, n°2. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2013].

Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30332014000200016&script=sci_arttext&tlng=pt

ISSN: 0123-3033

- Mejía, Gregory. Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* [en línea]. Enero-junio 2006, vol. 1, n°1. [Fecha de consulta: 1 de diciembre del 2005].

Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428096010.pdf>

E-ISSN: 1900-9607

- Olguin, Eugenia; Hernández, María y Sánchez, Gloria. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. Julio-septiembre 2007, vol. 23, n° 3. [Fecha de consulta: enero 2007].

Disponible

en

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992007000300004

ISSN: 0188-4999

- VELÁSQUEZ Bejarano, Miche. Contaminación por Plomo y Cobre en el Rio Huaycoloro y su influencia en la Calidad del Agua en el Rio Rímac, 2018. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2018. 52 pp.
- ASHRAF, M.A., HUSSAIN, I., RASHEED, R., IQBAL, M., RIAZ, M. y ARIF, M.S., 2017. Advances in microbe-assisted reclamation of heavy metal contaminated soils over the last decade: A review. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 198, pp. 132-143.
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.060>.
ISSN: 1095-8630.
- RIZWAN, M., ALI, S., ZIA UR REHMAN, M., RINKLEBE, J., TSANG, D.C.W., BASHIR, A., MAQBOOL, A., TACK, F.M.G. y OK, Y.S., 2018. Cadmium phytoremediation potential of Brassica crop species: A review. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 631-632, pp. 1175-1191.
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.104>.
ISSN: 1879-1026.
- MA, Y., RAJKUMAR, M., ZHANG, C. y FREITAS, H., 2016. Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 174, pp. 14-25.
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.047>.
ISSN: 1095-8630.
- LUO, Z. Bin, HE, J., POLLE, A. y RENNENBERG, H., 2016. Heavy metal

accumulation and signal transduction in herbaceous and woody plants: Paving the way for enhancing phytoremediation efficiency. *Biotechnology Advances* [en línea], vol. 34, no. 6, pp. 1131-1148.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.07.003>.

ISSN: 0734-9750.

- LIU, L., LI, W., SONG, W. y GUO, M., 2018. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 633, pp. 206-219.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>.

ISSN: 1879-1026.

- ASHRAF, Sana, ALI, Q., ZAHIR, Z.A., ASHRAF, Sobia y ASGHAR, H.N., 2019. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 174, no. November 2018, pp. 714-727.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068>.

ISSN: 1090-2414

- PIZARRO, R., FLORES, J.P., TAPIA, J., VALDÉS-PINEDA, R., GONZÁLEZ, D., MORALES, C., SANGÜESA, C., BALOCCHI, F. y LEÓN, L., 2015. Forest species in the recovery of soils contaminated with copper due to mining activities. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 22, no. 1, pp. 29-43.

Disponible en DOI [10.5154/r.rchscfa.2014.06.026](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.06.026).

ISSN: 2007-4018.

- LÓPEZ, J., GARCÍA, O., GRIMA, J., BALLESTEROS, B. y PÉREZ, M., 2010. Técnicas de biorrecuperación in situ en acuíferos contaminados por metales pesados. *Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Proyectos de*

Valencia, pp. 233-243.

- CHEN, J., LI, S., XU, B., SU, C., JIANG, Q., ZHOU, C., JIN, Q., ZHAO, Y. y XIAO, M., 2017. Characterization of Burkholderia sp. XTB-5 for Phenol Degradation and Plant Growth Promotion and Its Application in Bioremediation of Contaminated Soil. *Land Degradation and Development*, vol. 28, no. 3, pp. 1091-1099.
Disponibile en DOI 10.1002/ldr.2646.
ISSN: 1099-145X.
- PIZARRO, R., FLORES, J.P., TAPIA, J., VALDÉS-PINEDA, R., GONZÁLEZ, D., MORALES, C., SANGÜESA, C., BALOCCHI, F. y LEÓN, L., 2015. Forest species in the recovery of soils contaminated with copper due to mining activities. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 22, no. 1, pp. 29-43.
Disponibile en: DOI 10.5154/r.rchscfa.2014.06.026.
ISSN: 2007-4018
- MADARIAGA-NAVARRETE, A., RODRÍGUEZ-PASTRANA, B.R., VILLAGÓMEZ-IBARRA, J.R., ACEVEDO-SANDOVAL, O.A., PERRY, G. y ISLAS-PELCASTRE, M., 2017. Bioremediation model for atrazine contaminated agricultural soils using phytoremediation (using *Phaseolus vulgaris* L.) and a locally adapted microbial consortium. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, vol. 52, no. 6, pp. 367-375.
Disponibile en: DOI 10.1080/03601234.2017.1292092.
ISSN: 1532-4109.

- PINO, N.J., MUÑERA, L.M. y PEÑUELA, G.A., 2016. Bioaugmentation with Immobilized Microorganisms to Enhance Phytoremediation of PCB-Contaminated Soil. *Soil and Sediment Contamination*, vol. 25, no. 4, pp. 419-430.

Disponible en: DOI 10.1080/15320383.2016.1148010.

ISSN: 1549-7887.
- CHIBOUB, M., SAADANI, O., FATNASSI, I.C., ABDELKRIM, S., ABID, G., JEBARA, M. y JEBARA, S.H., 2016. Characterization of efficient plant-growth-promoting bacteria isolated from *Sulla coronaria* resistant to cadmium and to other heavy metals. *Comptes Rendus - Biologies*, vol. 339, no. 9-10, pp. 391-398.

Disponible en: DOI 10.1016/j.crv.2016.04.015.

ISSN: 17683238.
- JIN, Z., DENG, S., WEN, Y., JIN, Y., PAN, L., ZHANG, Y., BLACK, T., JONES, K.C., ZHANG, H. y ZHANG, D., 2019. Application of *Simplicillium chinense* for Cd and Pb biosorption and enhancing heavy metal phytoremediation of soils. *Science of the Total Environment*, vol. 697.

Disponible en: DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.134148.

ISSN: 18791026
- XIE, Y., LUO, Y., SHENG, M., PENG, H., GU, Y., XU, H. y ZHAO, Y., 2020. 24-Epibrassinolide combined with heavy metal resistant bacteria enhancing phytoextraction of *Amaranthus hypochondriacus* L. in Cd-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 399.

Disponibile: DOI 10.1016/j.jhazmat.2020.123031.

ISSN: 18733336
- ROJJANATEERANAJ, P., SANGTHONG, C. y PRAPAGDEE, B., 2017.

Enhanced cadmium phytoremediation of *Glycine max* L. through bioaugmentation of cadmium-resistant bacteria assisted by biostimulation. *Chemosphere*, vol. 185, pp. 764-771.

Disponibile en: DOI [10.1016/j.chemosphere.2017.07.074](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.074).

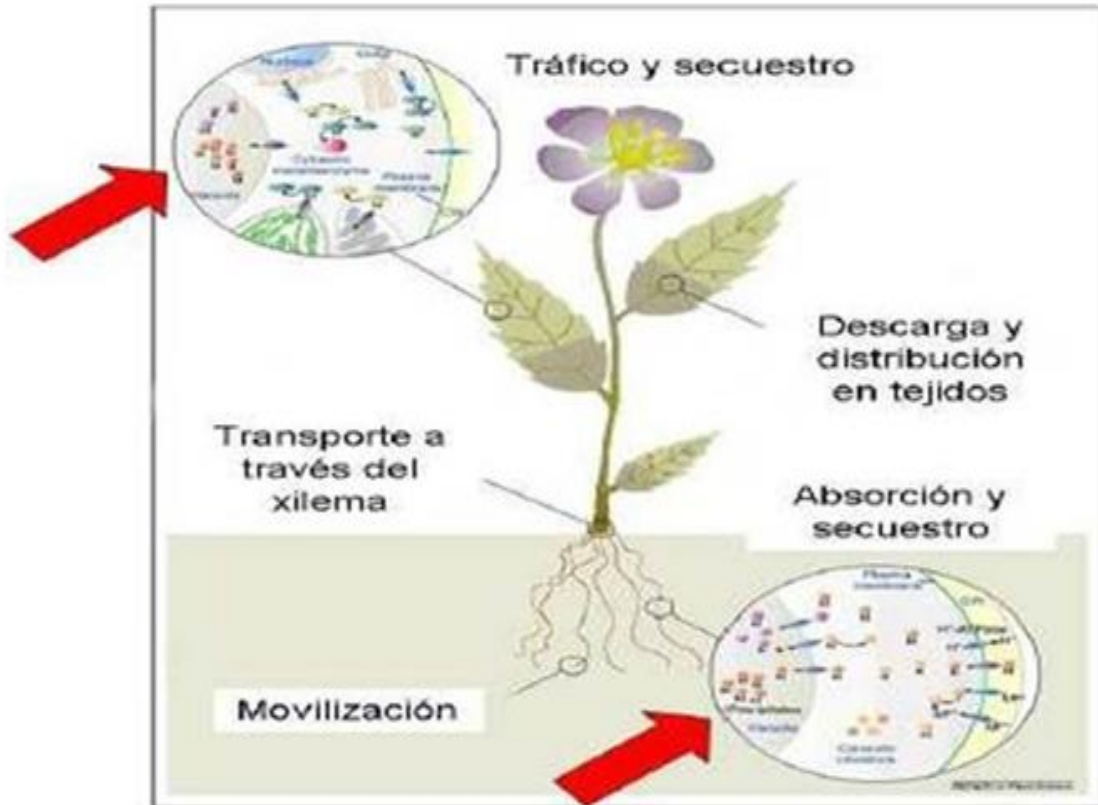
ISSN: 18791298

- LIU, C., LIN, H., DONG, Y., LI, B. y LIU, Y., 2018. Investigation on microbial community in remediation of lead-contaminated soil by *Trifolium repens*L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 165, pp. 52-60.

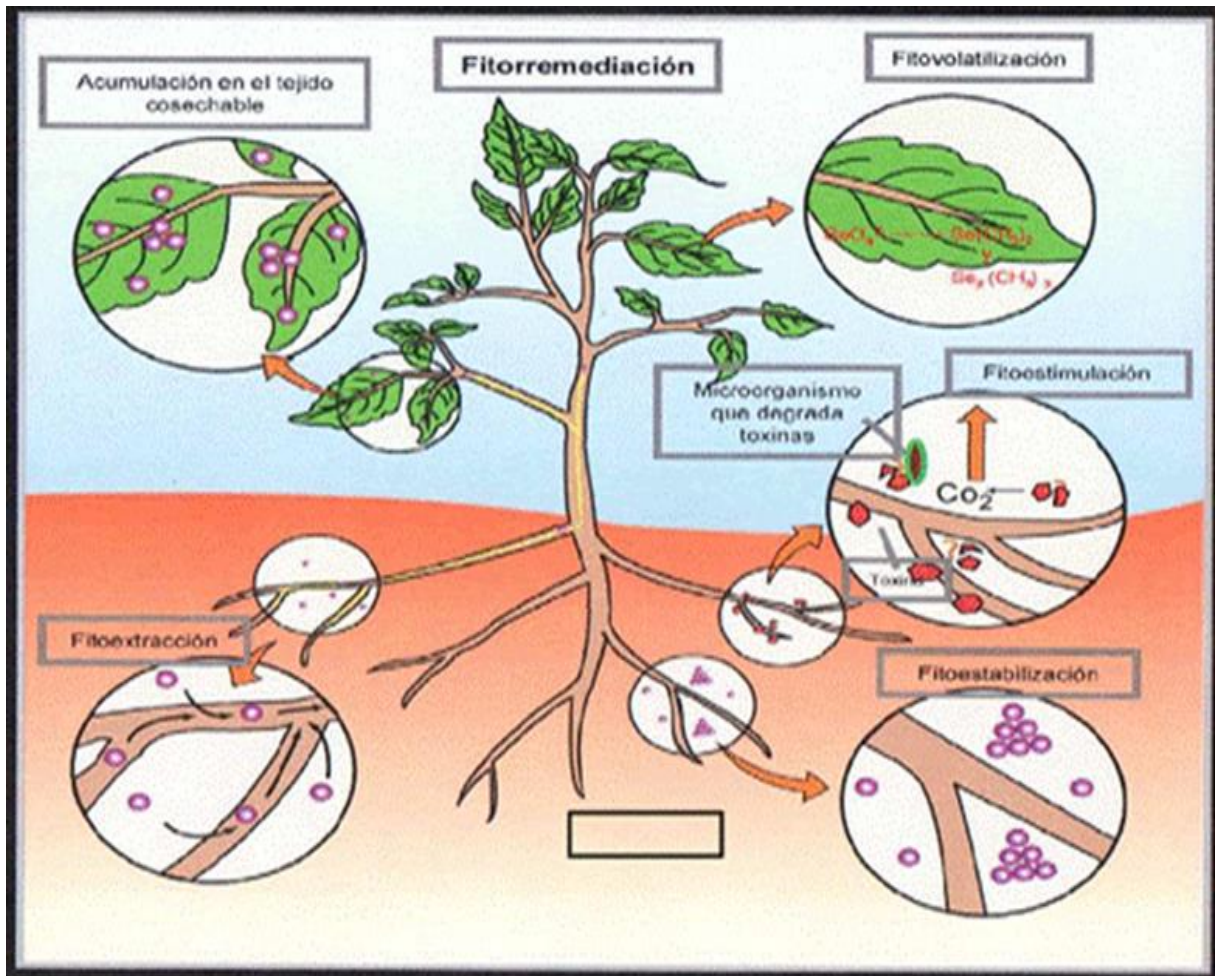
Disponibile en: DOI [10.1016/j.ecoenv.2018.08.054](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.054).

ISSN: 10902414

ANEXOS



Anexo 1. Mecanismos de acumulación de metales pesados en las plantas (Clemens et-al, 2002)



Anexo 2. Mecanismos y procesos de la fitorremediación con microorganismos (Santiago, 2011)