UEA Forestal
PrePrint UEA

Sección Forestal
Vol. FOR2424. ep11–460

| Recibido: 04/09/2024 |
| Aceptado: 07/10/2024 |
| Publicado: 26/11/2026 |

Revegetación con plantas fitorremediadoras en áreas contaminadas por actividades mineras en Tuyano, parroquia Misahuallí.

Revegetation with phytoremediating plants in areas contaminated by mining activities in Tuyano, Misahuallí parish.

Leida Karina Coquinche Calapucha[1], Andreina Grefa Cerda[1] Maria Katharina Elisabeth De Decker[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2424ep11-460 Crossref

Resumen

La minería de oro artesanal y en pequeña escala es el sector con mayor demanda de mercurio (Hg) y, por lo tanto, una de las principales fuentes de contaminación por Hg en el medio ambiente. Este estudio se realizó en el sitio minero de oro del sector Tuyano, parroquia Misahuallí, provincia Napo para identificar especies de plantas nativas que crecen en suelos contaminados con Hg y otros metales pesados para evaluar su potencial como sistemas de fitorremediación. Se identificaron veinticuatro especies de plantas nativas, las cuales fueron analizadas para determinar su potencial de acumulación de metales pesados. Las plantas seleccionadas para esta actividad se ubicaron en un marco de plantación entre narigón y camellón, con un espaciamiento de 4 x 4 metros, lo que permitió calcular la cantidad de individuos que se situarían en cada área respectiva. Se destacó a las especies *Ceiba pentandra* (Hg 4,26 mg/kg), *Ochroma pyramidale* (As 1,60 mg.kg), *Piptocoma discolor* (Cd 0,35 mg kg-1) y Pb (55,67 mg kg -1). La planta herbácea *Carludovica* palmate (Cd 0,34 mg.kg-1) actúa principalmente en la raíz**.** Las especies se distribuyeron en el área afectada con un total de 8.201 plantas, divididas de la siguiente manera: la primera área contará con 5.972 ejemplares, la segunda con 1.145, la tercera con 780, y la última con 304 especies. Por ende, se sugiere su uso como especies promisorias para llevar a cabo la revegetación. Por lo que el éxito de la recuperación requiere varias actividades para un futuro funcionamiento del suelo.

Palabras clave

minería, fitorremediación, metales pesados, hiperacumulación.

Abstract

Artisanal and small-scale gold mining is the sector with the highest demand for mercury (Hg) and, therefore, one of the main sources of Hg contamination in the environment. This study was carried out at the gold mining site in the Tuyano sector, Misahuallí parish, Napo province to identify native plant species that grow in soils contaminated with Hg and other heavy metals to evaluate their potential as phytoremediation systems. Twenty-four native plant species were identified, which were analyzed to determine their potential for heavy metal accumulation. The plants selected for this activity were located in a plantation frame between the ridge and the raised bed, with a spacing of 4 x 4 meters, which allowed the calculation of the number of individuals that would be located in each respective area. The species *Ceiba pentandra* (Hg 4.26 mg/kg), *Ochroma pyramidale* (As 1.60 mg.kg), *Piptocoma discolor* (Cd 0.35 mg kg-1) and Pb (55.67 mg kg-1) were highlighted. The herbaceous plant *Carludovica palmate* (Cd 0.34 mg.kg-1) acts mainly on the root. The species were distributed in the affected area with a total of 8,201 plants, divided as follows: the first area will have 5,972 specimens, the second with 1,145, the third with 780, and the last with 304 species. Therefore, their use is suggested as promising species to carry out revegetation. Therefore, the success of the recovery requires several activities for future soil functioning.

Keywords

mining, phytoremediation, heavy metals, hyperaccumulation.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica.. Pastaza, Ecuador. Email: lk.coquinchec@uea.edu.ec, for2017127@uea.edu.ec, mdecker@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Leida Karina Coquinche Calapucha. Universidad Estatal Amazónica.. Pastaza, Ecuador. Email: lk.coquinchec@uea.edu.ec

Cómo citar

COQUINCHE CALAPUCHA, Leida Karina, GREFA CERDA, Andreina and DE DECKER, Maria Katharina Elisabeth 2026. **Revegetación con plantas fitorremediadoras en áreas contaminadas por actividades mineras en Tuyano, parroquia Misahuallí.**. PrePrint UEA. Vol. FOR2424. p. ep11–460. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2424ep11-460

Editores Académicos Sucoshañay Villalba Darwin Javier

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

La minería se ha convertido en una gran oportunidad para el aumento en la economía de varios países, al punto en que grandes empresas de minería invierten en países de Latinoamérica con grandes recursos naturales o minerales. Varias empresas mineras han concurrido al Ecuador con la intención de extraer los recursos que posee, siendo sus principales destinos de exportación a China, Emiratos Árabes Unidos y Suiza (Primicias, 2024).

En Ecuador la minería actualmente representa el 16% del (PIB). Los expertos indican que existe un alto potencial minero donde en los últimos años el país ha comenzado a avanzar promocionando un sector minero más grande debido a la expansión económica en los mercados internacionales (Planetgold, s. f.) lo que ha permitido que el capital extranjero y las empresas mineras invadan las tierras de los agricultores e indígenas. Esta expansión minera también ha provocado el surgimiento de la minería artesanal y de pequeña escala (Jacka 2018), causando una degradación ambiental notable

afectando a la flora y fauna local y regional, repercutiendo gravemente en la salud de las personas (Mew 2024). La contaminación afecta de manera directa de los desechos tóxicos, por varios compuestos químicos como: ácidos, cianuro, sales de ácido cianhídrico, mercurio (Hg), manganeso (Mn), cobre (Cu), cobalto (Co), plomo (Pb), arsénico (As), selenio (Se), cadmio (Cd), entre otros, que al no ser usados de manera adecuada ocasionan daños al ecosistema y como consecuencia vulnerando los derechos de las personas cercanas al sitio de intervención ocasionando su desplazamiento forzado debido a la contaminación del agua de los ríos y del medio ambiente en general (Moncada et al 2022).

En la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) la minería de oro se desarrolla principalmente en las riberas de los ríos, como sucede en la cabecera del río Napo del sector Tuyano de la parroquia Misahuallí, donde se encuentran las concesiones mineras. En el sitio se ha dado lugar a la explotación de este material de forma artesanal debido a la alta presencia de oro, efectuando sus operaciones con plantas de procesamiento situadas cerca del río, provocando graves consecuencias en el ambiente, entre ellas la deforestación de los bosques primarios. Además, se han presentado otras afectaciones como la minería de pétreos y de desfogue de desechos en las zonas donde existen centros poblados, generando que varias zonas del río Tuyano se encuentren seriamente contaminadas (Yépez 2021).

En la actualidad existen prácticas que consisten en devolver el equilibrio y/o restaurar la cubierta vegetal en áreas afectadas, buscando resolver la contaminación que se origina a causa de los metales pesados presentes en el sistema del agua, suelo y las plantas, mediante estrategias implicadas en el uso de plantas que posean el potencial de acumular metales pesados como parte del proceso para fitorremediación in situ, eliminando los contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos (Jara-Peña et al. 2014).

El uso de técnicas que impliquen la biorremediación para la restauración de sitios contaminados, reconoce la importancia de las especies vegetales propias del sitio de estudio. La fitorremediación en las áreas contaminadas mediante la revegetación es una vertiente que surge recientemente como una alternativa novedosa ante esta problemática ambiental (Morrero et al. 2012), basándose en el uso de plantas fitorremediadoras las cuales forman parte de la ecotecnología basada en la capacidad que presentan algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes mediante mecanismos propios de las plantas que ayuden en la captura de los metales, con el fin de recuperar los suelos contaminados por compuestos orgánicos como inorgánicos. Mientras que la hiperacumulación hace referencia a la capacidad que tienen algunas plantas para concentrar contaminantes en sus tejidos con niveles que sobrepasan los normales (Castañeda 2020).

Las actividades de minería artesanal respecto a las concesiones mineras en el sector Tuyano perteneciente a la parroquia Misahuallí de la provincia Napo se han realizado sin ningún tipo de consideración socioambiental y sin aplicar las normas de protección del medio ambiente originando efectos perjudiciales al entorno ocasionando la pérdida de la flora y la fauna en el lugar (Supay 2007).

Por consecuente, el presente trabajo procura proponer una revegetación con plantas fitorremediadoras encontradas en la zona con menor predominancia y de rápido crecimiento, en un área contaminada por metales pesados originado por la actividad minera, calculando el área afectada para el uso posterior de las plantas que sean seleccionadas para llevar a cabo esta actividad.

2. Metodología

2.1. Localización

El área de estudio se encuentra en el sector Tuyano perteneciente a la parroquia Puerto Misahuallí de la provincia Napo, con coordenadas geográficas GCS WGS 84 1° 1’ 39"de latitud Sur y 77° 37’ 46"de longitud Oeste. Este sector cuenta con aproximadamente 250 habitantes, donde las personas se dedican a la agricultura, elaboración de artesanías y actividades turísticas (Alvarado Rodríguez y Salazar Izurieta 2012). Aquí se encuentra registrada una propiedad perteneciente a la parroquia Misahuallí, en la provincia de Napo **(Figura 1)**.

En esta zona se identificaron múltiples áreas de contaminación, especialmente alrededor del río Tuyano, donde se acumulan los contaminantes. Para ubicar y delimitar el área afectada, se recopilaron datos utilizando la aplicación GPS Essentials (obtenida en Google Play Store para el sistema Android), y estos puntos fueron procesados en ArcMap 10.5. Mediante la fotointerpretación de imágenes con la ayuda del mapa base del ArcMap (la opción Imagery del Base Map), se delimitó la zona afectada, creando un nuevo archivo tipo shapefile para establecer sus límites. Cabe mencionar que el programa ArcMap no indica la fecha de sus imágenes, no obstante, la fecha más actualizada de la imagen de Google Earth es de 9 de mayo 2023 y comparando las dos imágenes se optó por la más actualizada de ArcMap.

Posteriormente, se empleó la herramienta Cut Polygon Tool para dividir el área en diferentes zonas, como las áreas circundantes al río, lo que resultó en tres zonas principales. Se calculó el área exacta de cada zona en la tabla de atributos utilizando la opción Calculate Geometry. Finalmente, para determinar la cantidad de árboles que deberían ser plantados en cada zona, se utilizó la herramienta Create Fishnet.



Figura 1 | Ubicación geográfica del río Tuyano ubicado en el área de estudio en el sector Tuyano, perteneciente a la parroquia Puerto Misahuallí de la provincia Napo

2.2. Características climáticas de la zona de estudio

El territorio de la parroquia Misahuallí posee un piso climático semi-húmedo y húmedo. Hay presencia de precipitaciones durante todo el año, incluso el mes más seco presenta mucha lluvia **(Tabla 1).** El clima aquí se clasifica como Af por el sistema Köppen-Geiger (Colín Cruz 2021).

Tabla 1 | Información climática

Parámetros	Características
Temperatura media anual	23,9 °C
Precipitación media anual	3803 mm
Rango altitudinal	510 msnm
Heliofanía	1000 – 1500 horas anuales
Humedad	90%

2.3. Materiales y métodos

Para este trabajo se utilizaron los tipos de investigación, descriptiva y aplicada.

2.3.1. Investigación descriptiva

Según Guevara (2020) la investigación descriptiva facilita a los investigadores obtener información detallada de contextos específicos, permitiendo a los lectores una comprensión más clara de los temas que estecen siendo explicados. Este tipo de investigación acude al enfoque sistemático utilizado por los investigadores para recopilar, analizar y presentar los datos sobre aquello que esté siendo analizado. Su principal objetivo es describir aquello que ya existe, basándose en observaciones empíricas.

2.3.2 Investigación aplicada

También, con el tipo de investigación aplicada se busca cubrir la necesidad social práctica por resolver situaciones específicas, es decir, se busca la aplicación o el uso de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de incluirlos de forma práctica para lograr satisfacer necesidades concretas, presentando una solución a problemas del sector social y/o productivo (Castro *et al*. 2023).

2.4. Fuentes de recopilación

2.4.1. Fuente secundaria

Se acudió a páginas web, tesis, artículos científicos, libros y proyectos de investigación para la identificación correcta de las especies presentes en la zona y así elaborar las fichas de inventario de cada especie seleccionada del lugar.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados

Esta área se encuentra en la comunidad de Tuyano, en la parroquia Puerto Misahuallí, provincia de Napo. Fue seleccionada debido a su proximidad al río Napo, cubriendo una superficie total de 17.577 m^2, de los cuales aproximadamente 10 hectáreas están afectadas por la minería.

La extracción de recursos minerales provoca graves daños al suelo. No solamente contamina el suelo con metales pesado, sino también altera las comunidades microbianas y afecta a la vegetación.

Además, provoca perturbaciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, como el pH del suelo, la fertilidad, la comunidad microbiana y los diversos ciclos de nutrientes del suelo que hacen que el suelo degradado ya no sea productivo (Sheoran, Sheoran y Poonia 2010). La zona fue dividida en tres áreas diferentes: la zona 1 con 53.742 m^2, la zona 2 con 10.338 m^2, y la zona 3 con 6.997 m^2 (**Figura 2**). En cada una de estas áreas se implementó un marco de plantación con una disposición de 4 x 4 metros.



Figura 2 | División de las áreas en metros cuadrados respectivos para cada especie con un marco de plantación de 4 x 4 (narigón y camellón).

3.1.2. Fichas de inventario de las especies seleccionadas en la zona

3.1.2.1. Ceiba pentandra (L.) Gaertn

Identificar la especie forestal maderable que tengan el potencial de remediar la contaminación del suelo causada por metales tóxicos. Por lo que esta especie se refiere a su capacidad específica para limpiar o reducir la contaminación ambiental, especialmente en suelos y aguas (Huayllani Enriquez 2016) en las **Tablas 2 y 3**.

Tabla 2 | Ceiba pentandra (L.) Gaertn

1. Ceibo		
Orden: Malvales	**Familia:** Malvaceae	**Nombre científico:** *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.
Descripción de la especie: esta especie es nativa de América tropical, se distribuye mundialmente por la zona intertropical, alcanzando su edad adulta a los 5 años. Esta especie es de rápido crecimiento y se la encuentra desde 0 – 900 msnm, crece en una gran variedad de suelos, soporta la inundación en un prolongado tiempo, normalmente crece en climas cálidos. Estos individuos alcanzan alturas de hasta 40 m y diámetros de hasta 3 m.	**Usos**: *Para madera. *Uso medicinal. *La fibra algodonosa de los frutos es un material aislante y resistente usado para almohadas. *El aceite de la semilla se emplea como lubricante. **Propiedades fitorremediadoras:** con potencial para la reforestación y restauración de suelos contaminados por metales pesados.	
Estado de conservación, UICN: Preocupación menor		

Tabla 3 | Taxonomía

Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Género	Ceiba Mill.
Especie	*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.

3.1.2.2. Ochroma pyramidale (Cav.) Urb.

Comunmente llamado balsa, este {árbol tropical posee un potencial fotirremediador significativo. Entre sus capacidades especificas se incluye la absorción de metales, la Fitoextracción, su rápido crecimiento y alta producción de biomas.

Estas características hacen que Ochroma pyramidale sea una opción adecuada para su uso en la fitorremediación, particularmente en la limpieza de suelos contaminados con metales pesados. (Huayllani Enriquez 2016) en las **Tablas 4 y 5.**

Tabla 4 | Ochroma pyramidale (Cav.) Urb.

1. Balsa		
Orden: Malvales	**Familia:** Malvaceae	**Nombre científico:** *Ochroma pyramidale (Cav.) Urb.*
Descripción de la especie: esta especie es nativa de México, Suramérica y el Caribe. Se distribuye en Ecuador en la región costera y en la Amazonía. Esta especie es de rápido crecimiento y se la encuentra desde 300 – 1000 msnm, crece en terrenos no muy profundos y de clima cálido. Alcanzan su edad adulta a los 4 años. Estos individuos alcanzan alturas de hasta 20 m y diámetros de hasta 60 cm. Su fuste es recto y cilíndrico con copa ancha, abierta, redondeada o irregular.	**Usos**: *Para madera. *La fibra algodonosa sirve para el relleno de muebles. *Se usa en la fabricación de aceites quirúrgicos. **Propiedades fitorremediadoras:** especie con potencial para remediar in situ suelos, sedimentos y agua contaminados por metales pesados.	
Estado de conservación, UICN: Preocupación menor		

Tabla 5 | Taxonomía

Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Género	Ochroma Sw.
Especie	*Ochroma pyramidale (Cav.) Urb.*

3.1.2.3. Piptocoma discolor (Kunth) Pruski

Conocida también como botón de oro o escobo, aunque ha sido menos estudiada en el ámbito de la fitorremediación en comparación con otras especies, presenta un potencial fitorremediador gracias a diversas características ecológicas y biológicas. Entre sus capacidades destacan la absorción de metales pesados, la fitoestabilización, su tolerancia a condiciones degradadas, su rápido crecimiento y su considerable producción de biomasa. (González et al. 2021) en las **Tablas 6 y 7**.

Tabla 6 | Piptocoma discolor (Kunth) Pruski

3. Pigue		
Orden: Asterales	**Familia:** Asteraceae	**Nombre científico:** *Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski
Descripción de la especie: esta especie es nativa de la Amazonía de América del Sur. Es de rápido crecimiento y se encuentra desde 500 – 1500 msnm, crece en suelos limosos y arcillosos en climas cálidos. Alcanzan su edad adulta a los 5 años. Estos individuos alcanzan alturas de hasta 30 m y diámetros de hasta 60 cm. Su fuste es cilíndrico y presenta ramificaciones por encima del tercio inferior. Sus hojas son simples, elípticas y ovaladas. Su inflorescencia se encuentra en panículas de cabezuelas con cáliz de color verde y pétalos de color blanco.	**Usos:** *Para madera. *uso medicinal (corteza). **Propiedades fitorremediadoras:** especie con potencial para regenerar áreas abandonadas y ayudar a disminuir la fitotoxicidad en suelos.	
Estado de conservación, UICN: Preocupación menor		

Tabla 7 | Taxonomía

Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	Piptocoma Cass.
Especie	*Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski

3.1.2.4. Carludovica palmata Ruiz & Pav.

Es una planta tropical famosa por ser la fuente de fibras utilizadas en la confección de sombreros. No obstante, su potencial en fitorremediación no ha sido estudiado tan exhaustivamente como en otras especies.

A pesar de ello, ciertas características indican que podría poseer capacidades fitorremediadoras, como la absorción de contaminantes, tolerancia a suelos degradados, capacidad para brindar cobertura vegetal y controlar la erosión, así como un posible uso en la remediación de compuestos orgánicos. (Jacka 2018) en las **Tablas 8 y 9**.

Tabla 8 | Taxonomía

Reino	Plantae
Clase	Liliopsida
Orden	Pandanales
Familia	Cyclanthaceae
Género	Carludovica Ruiz & Pav.
Especie	*Cardulovica palmata* Ruiz & Pav.

Tabla 9 | Carludovica palmata Ruiz & Pav.

4. Toquilla		
Orden: Pandanales	**Familia:** Cyclanthaceae	**Nombre científico:** *Cardulovica palmata* Ruiz & Pav.
Descripción de la especie: esta especie se distribuye en América central, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y África Occidental. Crece en suelos pantanosos de climas tropicales. Alcanza la adultez a sus 3 años de edad. Es una Palmera monoica, de hasta 3.5 m, estolonífera. Hojas alternas 4-partidas, base plegada o cuneada. Flores unisexuales en espádices densos, protegidos por varias espatas bracteiformes, caducas. Flores femeninas rodeadas por 4 masculinas.	**Usos:** *Para elaboración de artesanías como: sombreros, canastas, etc. **Propiedades fitorremediadoras:** especie con potencial para la eliminar contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos.	
Estado de conservación, UICN: Preocupación menor		

3.1.3. Esquema final del sitio de estudio

En el esquema se presentan las especies que serán plantadas siguiendo un marco de plantación de 4 x 4 metros. *Ceiba pentandra* está representada con su imagen respectiva y ocupará un área de 53.742m^2. *Ochroma pyramidale* se muestra con su imagen y abarcará 10.338m^2. La especie *Piptocoma discolor* está indicada con la **Figura 3** indicada y cubrirá un área de 6.997m^2. Finalmente, *Carludovica palmata* será plantada a lo largo de las orillas del río (con un área de 19.406 m^2), representada con su respectiva imagen, con un perímetro de 1.829 m.

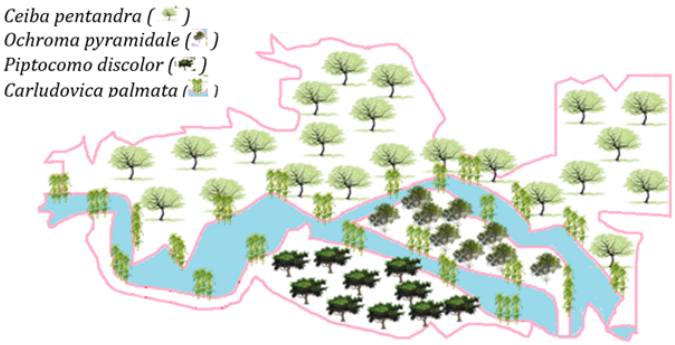

Figura 3 | Esquema demostrativo en gráfica de cada individuo por especie situadas por área en metros cuadrados.

3.1.4. Cantidad de especies por área

La **Tabla 10** muestra la cantidad de plantas que se establecerán en cada área designada: *Ceiba pentandra* ocupará su espacio con 5.972 ejemplares, *Ochroma pyramidale* con 1.145, *Piptocoma discolor* con 780, y *Carludovica palmata* con 304 ejemplares.

Tabla 10 | Número de individuos por especie respecto a las áreas calculadas en metros cuadrados (m^2) detallados en la figura 2

Especies forestales	Área (m²)	Número de individuos
Ceiba pentandra	53742	5972
Ochroma pyramidale	10338	1145
Piptocoma discolor	6997	780
Carludovica palmata	1829	304

3.2. Discusión

Acosta (2016) menciona que las denominadas plantas hiperacumuladoras son aquellas capaces de acumular de 0,1 a 10 mg de Mn o Zn por kilogramo de materia seca y de 0,1 a 1 mg.kg-1 de Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se o Ti. Según Dghaim *et al*. (2015) el límite máximo permisible para el Cd es de 0,3 mg.kg-1.

Speir *et al*. (1992) establecen como rango normal para la concentración de As en plantas un valor de 0,1 a 5 mg.kg-1. Valores que podrían usarse en las diferentes técnicas de fitorremediación. Acosta (2016) señala que estas plantas resultan ser tolerantes, es decir, hiperacumulan estos metales pesados sin sufrir efectos fitotóxicos generando la habilidad de crecer en suelos metalíferos y acumular grandes cantidades de metales pesados en sus órganos como pueden ser las raíces o sus hojas, a diferencia de los niveles encontrados en la mayoría de las especies. Estas plantas contribuyen a la fitorremediación en áreas contaminadas por estos metales.

Huayllani (2016) demostró en su estudio para determinar la presencia de metales pesados en la estructura vegetal de especies forestales, que las especies *Ceiba pentandra* y *Ochroma pyramidale* presentaron valores de arsénico no mayores a 2,02 mg.kg-1, encontrándose dentro del rango permisible de absorción de este metal.

En un análisis para calcular el Potencial bioacumulador de metales pesados para la fitorremediación de un área determinada en Napo mediante muestras a nivel foliar García *et al*., (2024) mencionan que la especie *Piptocoma discolor* presentó valores de Cd con medias de 0,35 mg.kg-1, valores que oscilan el rango permisible de absorción.

Cabe mencionar que, aunque el mercurio (Hg) es uno de los metales pesados más usados en contextos vinculados a la minería, existe poca información que evidencie la capacidad de tolerar este metal en las especies que fueron seleccionadas para llevar a cabo esta actividad, como sucede en el caso de Huayllani (2016)**:** su estudio demostró que los contenidos de Hg en las especies *Ceiba pentandra* y *Ochroma pyramidale* no alcanzaron los límites de detección, especulando que estas especies no permiten el ingreso de este metal en su sistema.

Llatance (2018) mediante su estudio de bioacumulación de cadmio, cuantificando el contenido total mediante espectrofotometría de absorción atómica en la especie *Carludovica palmata* se presentó una concentración de Cd principalmente en la raíz con un total de 0,34 mg.kg-1 resultando ser un valor que oscila el rango permisible de este metal.

Para mejorar la eficiencia de la fitoestabilización, se pueden agregar enmiendas orgánicas o inorgánicas al suelo contaminado. Estas enmiendas del suelo pueden alterar la

especiación de metales, reducir la solubilidad y biodisponibilidad de metales pesados al cambiar el valor de pH y el estado redox del suelo (Yan et al. 2020). Además, la aplicación de enmiendas puede aumentar el contenido de materia orgánica y nutrientes esenciales del suelo y mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas, lo que puede beneficiar la colonización de las plantas y mejorar la capacidad de retención de agua.

Los microorganismos que viven en la rizosfera, como las bacterias y las micorrizas, pueden contribuir a la fitoestabilización. Estos microorganismos pueden mejorar la eficiencia de la inmovilización de metales pesados mediante la adsorción de metales en sus paredes celulares, lo que produce quelantes y promueve los procesos de precipitación (Yan et al. 2020). También pueden aumentar la superficie y la profundidad de las raíces de las plantas para facilitar la fitoestabilización e incluso servir como barrera de filtración contra la translocación de iones de metales pesados de las raíces a los brotes (Yan et al. 2020).

4. Conclusiones

Un análisis minucioso del sitio de estudio permitió considerar el área calculada en metros cuadrados indicada para cada una de las especies que fueron seleccionadas para realizar la revegetación, considerando un marco de plantación de 4 x 4 (narigón y camellón) lo cual permitió calcular la cantidad de individuos que serán situados en cada área que fue seleccionada.

Mediante la identificación botánica de las especies fichadas en el campo se conoció que son especies poco predominantes y de rápido crecimiento, lo cual al ser utilizadas para la revegetación aseguran mantener la perpetuidad de las especies y a su vez considerando aquellas que presenten propiedades fitorremediadoras proporcionan una mejora en el suelo y el agua de sitios que han sido afectados por la actividad minera por el uso de metales pesados.

La información recaudada por medio de bibliografías y con la ayuda de distintas plataformas encontradas en la web han destacado claramente las especies que presentaron un desempeño sobresaliente como especies fitor-remediadoras para suelos contaminados por metales pesados utilizados en la actividad minera. De ahí que las especies *Ceiba pentandra, Ochroma pyramidale, Piptocoma discolor* y además la planta herbácea *Carludovica palmata* demostraron un marcado potencial en la hiperacumulación de metales pesados. Por lo que se sugiere su uso como especies promisorias para llevar a cabo la revegetación.

Pueden ser utilizadas en otras zonas mineras afectadas gracias a su habilidad para adaptarse a condiciones difíciles y mejorar la calidad del suelo. El desarrollo de estrategias de plantación ajustadas a las características del terreno y al nivel de contaminación local puede incrementar la efectividad del proceso de fitorremediación. Además, la diversidad de especies favorece la resiliencia del ecosistema, promoviendo un ambiente más estable y fortaleciendo la capacidad del suelo para sostener la regeneración natural, con estas especies en Tuyano puede servir de referencia para proyectos en otras áreas mineras, facilitando no solo la descontaminación del suelo, sino también la restauración de la biodiversidad y el fortalecimiento de la sostenibilidad de los ecosistemas a largo plazo.

Contribuciones de los autores:

Leida Karina Coquinche Calapucha: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada.

Andreina Grefa Cerda: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Maria Katharina Elisabeth De Decker: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada.

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ALVARADO RODRÍGUEZ, A.K. y SALAZAR IZURIETA, P.E., 2012. Propuesta para la creación de una radio comunitaria en Puerto Misahuallí.

ACOSTA, ADRIEL. 2016. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados. All you need is Biology. [En línea] 10 de diciembre de 2016. Disponible en: https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/12/10/plantas-hiperacumuladoras-de-metales-pesados/.

CASTAÑEDA CEJA, RAUL. 2020. Plantas fitorremediadoras e hiperacumuladoras. Slideshared a Scribd Company. [En línea] 08 de 12 de 2020. Disponible en: https://es.slideshare.net/slideshow/plantas-fitorremediadoras-e hiperacumuladoras/239887472#3.

CASTRO MALDONADO, JOHN J.; GÓMEZ MACHO, LEIDY K.; CAMARGO CASALLAS, ESPERANZA. 2023. La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. Revista X, 27(75), 140-174. Bogotá, Colombia: ISSN: 2248-7638. DOI: https://doi.org/10.14483/22487638.19171.

COLÍN CRUZ, H.O., [2021]. Automatización de la clasificación climática de Köppen-Geiger en un SIG.

DGHAIM, RANIA; AL KHATIB, SAFA; RASOOL, HUSNA; MANAWWAR, ALI KHAN. 2015. Determination of Heavy Metals Concentration in Traditional Herbs Commonly Consumed in the United of Arab Emirates. Article ID 973878, 6. Dubai. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1155/2015/973878.

GARCÍA QUINTANA, YUDEL; ARTEAGA CRESPO, YASIEL; CHICO CAIZA, VIVIANA DEL ROSIO; LUNA FOX, STING BRAYAN; GARCIA DECORO, SAMANTHA. 2024. Potencial bioacumulador de metales pesados para la fitorre-

mediación como alternativa para la recuperación del paisaje forestal en un área de extracción minera, Pastaza, Ecuador. Vol 1. ISSN: 2310-3469. Disponible en; https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9539727

GONZÁLEZ, J.E., CORONEL ESPINOZA, B., QUEVEDO TUMAILLI, V., UVIDIA CABADIANA, H., OLIVA, D., MORÓN, C.J. y ROBLES CAMPO, M., 2021. Biomass Potential and Kinetics of Drying Model of Piptocoma discolor (pigüe) as a Source of Renewable Energy Source in Ecuador. *Enfoque UTE*, vol. 12, no. 1, ISSN 1390-6542.

GUEVARA ALBAN, GLADYS PATRICIA; VERDESOTO ARGUELLO, ALEXIS EDUARDO Y CASTRO MOLINA, NELLY ESTHER. 2020. Metodologías de la investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas y de investigación- acción). RECIMUNDO. [en línea]. vol. 4, no. 3, pp. 163-173. [Consultado: 4 sep. 2024]. DOI 10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173.

HUAYLLANI ENRIQUEZ, M.G., 2016. Presencia de metales pesados en la estructura vegetal de Apeiba menbranacea Spruce ex Benth.(Peine de mono), Ochroma pyramidale (Cav, ex. Lam.) Urb.(Topa), Ceiba pentandra (L.) Gaerth.(Lupuna), Erythrina ulei Harms (Amasisa) Instaladas en áreas intervenidas por la minería aurífera en el sector Manuani–Inambari–Tambopata–Madre de Dios.

JACKA, JERRY K. 2018 The Anthropology of Mining: The Social and Environmental Impacts of Resource Extraction in the Mineral Age.Colorado- Estados Unidos: Annual Review of Anthropology, Vol. 47. Disponible en: https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102317-050156.

JARA-PEÑA, E., GÓMEZ, J., MONTOYA, H., CHANCO, M., MARIANO, M. y CANO, N., 2014. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, vol. 21, no. 2, ISSN 1727-9933.

LLATANCE, WILBER O.C.; GONZA SAAVEDRA, CÉSAR JULIÁN; GUZMÁN CASTILLO, WAGNER; PARIENTE MONDRAGÓN, ELI. 2018. Bioacumulación de cadmio en el cacao (Theobroma cacao) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. Vol 33. Lima, Perú. Vol. 33. ISSN 2523-1855. Disponible en: https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1156/pdf_29

LOJA MEJÍA, VIVIANA YAZMIN. 2022. Estudio de la Composición Florística de la Finca el Trinfo, Cantón Pastaza, Provincia Pastaza. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Riobamba, Ecuador. Disponible en http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/17865/1/23T00960.pdf.

MEW, MICHAEL C. 2024. Why and when do reserves estimates in mining change and innovations take place?. Switzerland : Elsevier, vol 217. Disponible en https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108085.

MONCADA, ANASCAS DEL RIO, CASTELLANOS PULIDO, JORGE y TÉLLEZ SÁNCHEZ, RAFAEL. 2022. Encuentros: Ciudad, Medio ambiente y territorio. Bucaramanga, Colombia : Revista Encuentro, núm 24. Disponible en https://issuu.com/movcivicoconcienciaciudadana/docs/revista_encuentros_numero_24.

MORRERO COTO, JEANNETTE; AMORES SÁNCHEZ, ISIS; COTO PÉREZ, ORQUÍDEA. 2012. Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. Revista Cubana de Química, 46(3), 52-61. Habana, Cuba: ISSN: 0138-6204. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223124988007.

MUÑOZ SANCHÉZ, ARMANDO; GODOY HERNÁNDEZ, GREGORIO; GONZÁLEZ ESTRADA, TOMÁS. 2021. Los sombreros y la palma jipi (Carludovica palmata). Herbario CICY. [En línea] 2021. Disponible en: https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2021/2021-08-19-Munoz-Sanchez-et-al.-Los-sombreros-y-la-palma-jipi.pdf. ISSN: 2395-8790. ISSN: 2395-8790.

PALACIOS, WALTER. 2016. Árboles del Ecuador: Familias y Géneros. Quito : s.n., 2016. ISBN: 978-9942-8590-5-1.

PLANETGOLD. s.f Apoyar a los mineros para mejorar la salud y el medio ambiente. [En línea]. Disponible en: https://www.planetgold.org/es/ecuador.

PRIMICIAS. 2024. Exportaciones mineras crecen 21% hasta julio de 2023. [En línea] 03 de septiembre de 2024. Disponible en: https://www.primicias.ec/noticias/economia/exportaciones-mineria-oro-cobre/.

REDVIVE. 2021. CATALOGO DE ÁRBOLES DE LA RED DE VIVEROS DE BIODIVERSIDAD. [En línea]. Disponible en: https://revivemx.org/Recursos/Catalogos/Catalogo_arboles_redviverosbio.pdf.

SPEIR, T.W.; AUGUST, J.A.; FELTHA, C.W. 1992. Assessment of the feasibility of using CCA (copper, chromium and arsenic)- treates and boric acid-treated sawdust as soil amendments. Plant and soil, 142, 235-248. SpringerLink. Disponible en: https://doi.org/10.1007/BF00010969.

SUPAY, ALI. 2007. Presiones de las mineras contra el Frente de Defensa del Medio Ambiente en Misahuall. LLACTA. [En línea] 9 de marzo de 2007. http://www.llacta.org/organiz/coms/2007/com0039.htm.

VIZCONDE SUÁREZ, JANETH YVONE. 2024. Eficiencia de la fitorremediación con Dactylis glomerata y Pennisetum clandestinum del relave de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas – *Huaraz*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

YAN, A., WANG, Y., TAN, S.N., MOHD YUSOF, M.L., GHOSH, S. y CHEN, Z., 2020. Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Frontiers in plant science*, vol. 11, ISSN 1664-462X.

YÉPEZ SALAZAR, AMANDA. 2021. Informe geográfico sobre la situación territorial en la provincia de Napo sobre algunas zonas donde se está explotando minería metálica. Disponible en: https://geografiacriticaecuador.org/wp-content/uploads/2022/01/Informe-inspeccion-Napo_Geografia-Critica_2020_marzo-2021_FINAL-con-firma.pdf.