

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 12, número 1; 2024

Artículo original

Potencial bioacumulador de metales pesados para la fitorremediación como alternativa para la recuperación del paisaje forestal en un área de extracción minera, Napo, Ecuador

Potential bioaccumulator of heavy metals for phytoremediation as an alternative for the recovery of the forest landscape in a mining extraction area, Napo, Ecuador

Potencial bioacumulativo de metais pesados para fitorremediação como uma alternativa para a recuperação da paisagem florestal em uma área de mineração, Napo, Equador

Yudel García Quintana^{1*} , Yasiel Arteaga Crespo¹ , Viviana del Rocío Chico Caiza² ,
Samantha García Decoro³ , Sting Brayan Luna Fox¹ , Carolina Bañol Pérez¹ 

¹Universidad Estatal Amazónica. Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza, Ecuador.

²Universidad Estatal Amazónica y Gobierno Municipal del Cantón Pastaza, Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza, Ecuador.

³Empresa Forestal de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba.

*Autor para la correspondencia: yudelgarcia@gmail.com

Recibido: 06/02/2024.

Aprobado: 04/04/2024



RESUMEN

En la Amazonía ecuatoriana, cada día son mayores los desafíos para la identificación de especies fitorremediadoras que disminuyan la contaminación por metales pesados producto de la actividad minera. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados de tres especies forestales de rápido crecimiento (*Ochroma pyramidale*, *Piptocoma discolor* y *Bambusa vulgaris*) en un área de extracción minera, en la comunidad Yutzupino, Napo para la restauración. Se recolectaron muestras de hoja y suelo para determinar la concentración de metales pesados (Cd, Pb, Fe y Ni), mediante espectrometría de absorción atómica y se calculó el factor de bioconcentración (FBC). Los análisis foliares mostraron que *B. vulgaris* presentó mayor concentración de Ni (6,89 mg kg⁻¹) y Fe (156,33 mg kg⁻¹) y *P. discolor* contenía Cd (0,35 mg kg⁻¹) y Pb (55,67 mg kg⁻¹). Los análisis de suelos mostraron un patrón de variación en *B. vulgaris* superior en Cd, Ni y Pb y en *O. pyramidale* para Fe. El factor de bioconcentración permitió identificar la capacidad acumuladora de las especies, lo que sugiere que *P. discolor* puede ser utilizada como especie fitorremediadora para sitios contaminados por Cd y Pb, *O. pyramidale* para Ni y *B. vulgaris* para Fe.

Palabras clave: contaminación de suelo, análisis foliar, especies de rápido crecimiento, minería, Amazonía ecuatoriana.

ABSTRACT

In the Ecuadorian Amazon, the challenges for identifying, phytoremediation species that reduce heavy metal contamination resulting from mining activity are increasing every day. The objective of this work was to evaluate the bioaccumulator potential of heavy metals of three fast-growing forest species (*Ochroma pyramidale*, *Piptocoma discolor* and *Bambusa vulgaris*) in a mining extraction area, in the Yutzupino community, Napo for restoration. Leaf and soil samples were collected to determine the concentration of heavy metals (Cd, Pb, Fe and Ni) using atomic absorption spectrometry and the bioconcentration factor (BCF) was calculated. Leaf analyzes showed that *B. vulgaris* presented a higher concentration of Ni (6.89 mg kg⁻¹) and Fe (156.33 mg kg⁻¹) and *P. discolor* contained Cd (0.35 mg kg⁻¹) and Pb



(55.67 mg kg⁻¹). Soil analyzes showed a pattern of variation in *B. vulgaris* superior in Cd, Ni and Pb and in *O. pyramidale* for Fe. The bioconcentration factor allowed identifying the accumulating capacity of the species, which suggests that *P. discolor* may be used as a phytoremediation species for sites contaminated by Cd and Pb, *O. pyramidale* for Ni and *B. vulgaris* for Fe.

Keywords: soil contamination, foliar analysis, fast-growing species, mining, Ecuadorian Amazon.

RESUMO

Na Amazônia equatoriana, os desafios para a identificação de espécies de fitorremediação para reduzir a contaminação por metais pesados provenientes de atividades de mineração aumentam a cada dia. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial bioacumulativo de metais pesados de três espécies florestais de crescimento rápido (*Ochroma pyramidale*, *Piptocoma discolor* e *Bambusa vulgaris*) em uma área de extração de mineração na comunidade de Yutzupino, Napo, para restauração. Amostras de folhas e de solo foram coletadas para determinar a concentração de metais pesados (Cd, Pb, Fe e Ni) por espectrometria de absorção atômica e o fator de bioconcentração (BCF) foi calculado. A análise das folhas mostrou que a *B. vulgaris* tinha concentrações mais altas de Ni (6,89 mg kg⁻¹) e Fe (156,33 mg kg⁻¹) e a *P. discolor* continha Cd (0,35 mg kg⁻¹) e Pb (55,67 mg kg⁻¹). As análises do solo mostraram um padrão de variação em *B. vulgaris* maior em Cd, Ni e Pb e em *O. pyramidale* para Fe. O fator de bioconcentração identificou a capacidade de acumulação das espécies, sugerindo que *P. discolor* pode ser usada como uma espécie de fitorremediação para locais contaminados com Cd e Pb, *O. pyramidale* para Ni e *B. vulgaris* para Fe.

Palavras-chave: contaminação do solo, análise foliar, espécies de crescimento rápido, mineração, Amazônia equatoriana.



INTRODUCCIÓN

Los metales pesados se encuentran naturalmente presentes en el medio ambiente, en concentraciones que generalmente no dañan las diferentes formas de vida, mientras que los que provienen de actividades antropogénicas como la contaminación industrial, tecnológica, agrícola, minera y el mal uso de los suelos por diversos fertilizantes químicos pueden elevar los niveles de concentración en relación con los parámetros normales. Estos contaminantes se incorporan a los ríos, hortalizas, animales y alimentos, alterando así la sostenibilidad de la cadena alimentaria, presentando riesgos potenciales para la naturaleza y la sociedad, ya que causan graves problemas de salud humana y animal (Londoño Franco *et al.*, 2016)

Los ecosistemas boscosos de la Amazonía ecuatoriana son amenazados por las malas prácticas de extracción minera, reconocidas como uno de los principales problemas ambientales que inciden en la deforestación de extensas superficies de bosques, facilitando de esta manera procesos como deslizamientos de suelos, derrumbes, erosión y altos niveles de contaminación en el suelo por la extracción de minerales (Delgado *et al.*, 2023).

La minería de oro artesanal y en pequeña escala se encuentra entre las fuentes más importantes de metales pesados en los ecosistemas, lo que provoca una grave contaminación (Jacka, 2018). En la provincia de Napo, comunidad de Yutzupino, existe una modificación gradual del paisaje forestal, debido a la explotación a cielo abierto realizada por la extracción de minerales metálicos (oro), presuntamente por mineros ilegales dentro de la concesión minera. Las actividades mineras realizadas en la zona propician la acumulación de relaves de grava lavada y la generación de sedimentos, que al no contar con ningún tipo de consideración técnica aceleran la erosión el suelo, cambio en el relieve, formación de pozos artificiales (ciénagas), deslizamientos de suelo y producción de montículos de gravas de diferentes tamaños. Estas actividades han provocado la contaminación de metales pesados en el suelo y en los tejidos foliares de las diferentes especies forestales que habitan en este importante reservorio de bosque.



A pesar de la contaminación de metales pesados, algunas especies de plantas han desarrollado estrategias para prosperar en condiciones de altas concentraciones de metales pesados, convirtiéndolas en especies con potencial de aplicación en procesos de fitorremediación. Haga clic o pulse aquí para escribir texto. Las plantas metalófitos son especies que han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos degradados por la minería. Estas plantas pueden limitar la absorción de metales o trasladarlos a las hojas o absorberlos activamente y acumularlos en su biomasa aérea, las cuales pueden ser utilizadas en procesos de fitorrehabilitación y fitorremediación para restaurar sedimentos y aguas contaminadas con metales pesados y eliminar contaminantes en el ambiente (Jara-Peña *et al.*, 2014).

De ahí que el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados de tres especies forestales (*Ochroma pyramidale*, *Piptocoma discolor* y *Bambusa vulgaris*) en un área de extracción minera, en la comunidad Yutzupino, Napo con fines de fitorremediación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en un área de extracción minera, ubicada en la comunidad Yutzupino, región oriental ecuatoriana, perteneciente a la provincia de Napo, cantón Tena, parroquia Puerto Napo. Los límites geográficos se encontraron al SE con la parroquia de Puerto Napo y SW con el río Napo. La Figura 1 muestra la ubicación de los puntos de colecta del material, lo cual se corresponde con un bosque siempreverde amazónico.





Figura 1. - Ubicación geográfica del área de estudio

Selección de especies y recolección de muestras

Se seleccionaron tres especies forestales (*O. pyramidale*, *P. discolor* y *B. vulgaris*), tomando como criterio que fueran especies de importancia ecológica y económica con predominio en los ecosistemas de bosques siempreverde piemontano, de rápido crecimiento y amplia distribución en la región amazónica, con alta abundancia en el área de estudio y con capacidad de adaptación a las condiciones y cambios ambientales, que faciliten entender su respuesta como bioacumuladora de metales pesados.

La recolección de las muestras de hojas se realizó a individuos en estado adulto, con exposición al sol y en buen estado físico. El material vegetal se recolectó de diferentes lados de los árboles, para lo cual se cortaron las ramas para evitar el contacto de las hojas con el metal de las tijeras (Hu *et al.*, 2003).



Las muestras de suelo se tomaron en tres puntos, bajo la copa de los individuos seleccionados, a una profundidad de 0-30 cm, con el uso de un barreno (Greksa *et al.*, 2019). A las muestras de suelo se les eliminó la hojarasca y raíces presentes, estas fueron etiquetadas y trasladadas al Laboratorio de Estudios Ambientales del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA).

Determinación de metales pesados y factor de bioconcentración

Se determinaron los metales pesados (Cd, Pb, Fe y Ni) en las muestras de hojas y suelo, respectivamente. Las muestras de material vegetal se lavaron con agua potable y luego con agua destilada; se dejaron secar naturalmente sobre papel de filtro durante cuatro días, después se secaron en una secadora a 40 °C durante 48 h y se pulverizaron sin uso de metales cortantes (20 g aproximadamente) (ISO, 1995). La digestión del material vegetal se realizó con una mezcla de ácido nítrico (HNO₃) al 65 % y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 37 %, en una proporción 7:1 (digestión húmeda) y en un recipiente abierto (Kalra, 1997)

Se tomó una muestra de 100 g de suelo, la cual fue secada al aire, a temperatura ambiente, durante cuatro días sobre papel de filtro. Posteriormente fueron trituradas, se pasaron por un tamiz de malla de 2 mm y secadas en estufa a temperatura de 40 °C durante 48 h (Šichorová *et al.*, 2004) La determinación de los elementos en las muestras de suelo se realizó con 0,5 g de digestión de suelo, secado al aire con 12 mL de agua regia y con una proporción 1:2 de HNO₃ HCl a ebullición durante 2 h, seguido de filtración y ajuste de volumen en un matraz aforado de 100 mL (ISO, 1995).

La cuantificación de metales pesados en hojas y suelo se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 2380. Se utilizó para la curva de calibración del equipo un estándar de 1000 ppm de cada metal y se colocó la lámpara correspondiente.

Se calculó el factor de bioconcentración (FBC) como una proporción de la concentración de elementos en las plantas y el suelo, el cual representa la capacidad de la planta para absorber metales pesados de los medios de crecimiento. (Alahabadi *et al.*, 2017). El BCF se calculó mediante la Ecuación 1:



$$FBC = [C]_{\text{follaje}} / C_{\text{suelo}} \quad (1)$$

Dónde C_{follaje} y C_{suelo} representan la concentración de un elemento específico en el material vegetal (hojas) y del suelo, respectivamente.

Para identificar si una especie puede utilizarse con fines de fitorremediación para sitios contaminados por metales pesados se tomó como criterio el valor de cada elemento en función del factor de bioconcentración (FBC). En la medida que el valor fue más alto se sugiere el uso de la especie como buena acumuladora del metal pesado en cuestión (Aisien *et al.*, 2010).

Procesamiento estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey al 95% de confiabilidad para determinar las diferencias significativas entre las especies de estudio en cuanto a las concentraciones de metales pesados (Cd, Pb, Ni y Fe) a nivel foliar y de suelo. Se obtuvo la matriz de correlación de Pearson para determinar las correlaciones existentes entre las concentraciones de metales pesados analizados en las plantas, el suelo y el factor de bioconcentración. Se empleó un análisis de componentes principales (PCA) para establecer la separación de las especies analizadas en dependencia de las concentraciones de los metales pesados analizados en el suelo y en la planta. En todos los análisis estadísticos se utilizó el software Origin 2021.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de metales pesados a nivel foliar (Figura 2) mostró diferencias significativas para Cd, Ni, Pb y Fe en las tres especies de estudio (*O. pyramidale*, *P. discolor* y *B. vulgaris*). En cuanto al Cd la especie *P. discolor* presentó valores superiores con medias de 0,35 mg kg⁻¹, mientras que *B. vulgaris* presentó valores más bajos (0,04 mg kg⁻¹). La concentración de Ni foliar indicó que *B. vulgaris* presentó los valores más altos (6,89 mg kg⁻¹) y *P. discolor* valores más bajos (4,90 mg kg⁻¹). La concentración de Pb resultó con medias superiores (55,67 mg kg⁻¹) para *P. discolor* y menores (9,65 mg kg⁻¹) para *B. vulgaris*. En cuanto



al Fe la concentración foliar fue superior en *B. vulgaris* (156,33 mg kg⁻¹) y menor para *O. pyramidale* (32,85 mg kg⁻¹).

Estos resultados son similares a lo reportado por Kabata (2010), donde obtuvo una concentración de Cd y Ni de 0,05-0,5 mg kg⁻¹, indicando que no superó los valores de tolerancia, mientras que el Pb resultó entre 30-300 mg kg⁻¹, lo cual superó los valores permisibles de toxicidad para las plantas. Estos resultados indicaron que la concentración de Cd y Ni no superó los valores permisibles para ninguna de las tres especies estudiadas, mientras que la concentración de Pb resultó con toxicidad para la especie *P. discolor*.

En la especie *B. vulgaris*, se encontró que la concentración de metales pesados a nivel foliar fue inferior a lo reportado por Liu *et al.*, (2015) y Liu *et al.* (2016) para Pb y Cd.

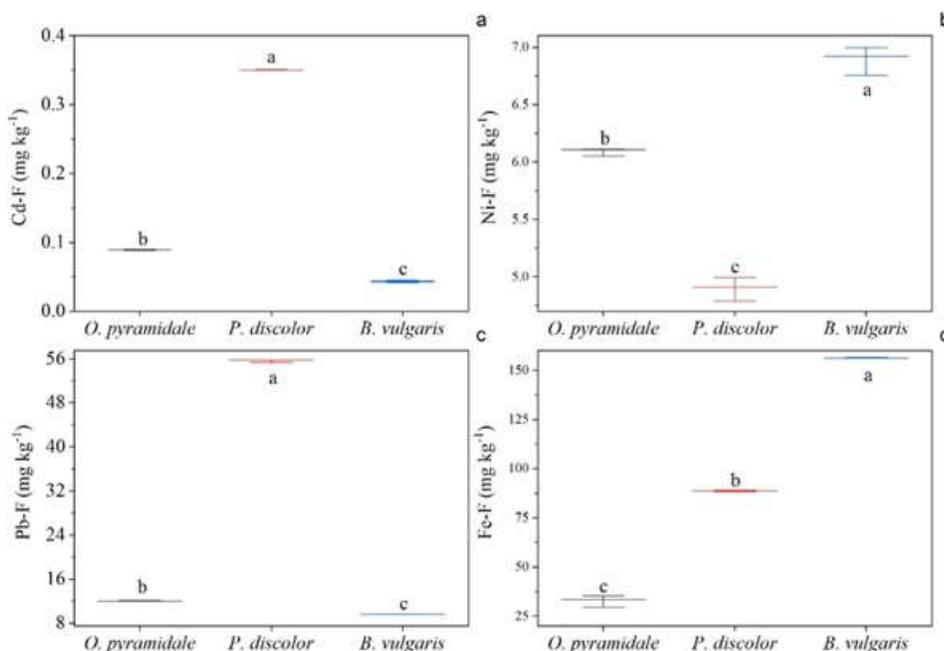


Figura 2. - Resultados de la concentración de los metales pesados en hojas de tres especies (*O. pyramidale*, *P. discolor*, *B. vulgaris*). (a) Cd-F (Cadmio foliar), (b) Ni-F (Niquel foliar), (c) Pb-F (Plomo foliar) y (d) Fe-F (Hierro foliar). En el interior de la figura letras desiguales indicaron diferencias significativas mediante el análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey ($p \leq 0,05$).



La concentración de metales pesados (Cd, Ni, Pb y Fe) presentes en el suelo donde se desarrollaron las especies *O. pyramidale*, *P. discolor* y *B. vulgaris* mostraron diferencias significativas (Figura 3). Se comprobó que existe un patrón de variación a nivel de especies similar a lo reportado para el análisis foliar. En relación con el comportamiento del Cd, Ni y Pb los resultados indicaron que el suelo donde se desarrolla *B. vulgaris* presentó los mayores valores y *O. pyramidale* presentó los menores valores, mientras que para la concentración de Fe los valores fueron superiores en *O. pyramidale* e inferiores para *B. vulgaris*. En cuanto al Cd a nivel del suelo la concentración se encontró entre 0,04 y 0,13 mg kg⁻¹, en el Ni osciló de 7,27 a 18,24 mg kg⁻¹, en Pb fue de 22,7 a 57,67 mg kg⁻¹ y en Fe fue de 536,21 a 845,28 mg kg⁻¹.

Conforme la regulación ecuatoriana (TULSMA, 2012) se encontró que la concentración de Cd no superó los valores permisibles (0,5 mg kg⁻¹), el Ni se encontró próximo a los valores críticos considerados como tóxicos (19,0 mg kg⁻¹), el Pb superó los valores permisibles (19,0 mg kg⁻¹) y el Fe no se encuentra regulado. Esto indicó un alto nivel de toxicidad en el suelo para el elemento Pb, lo cual sugiere acciones para la remediación con especies que sean capaces de absorber este metal pesado.

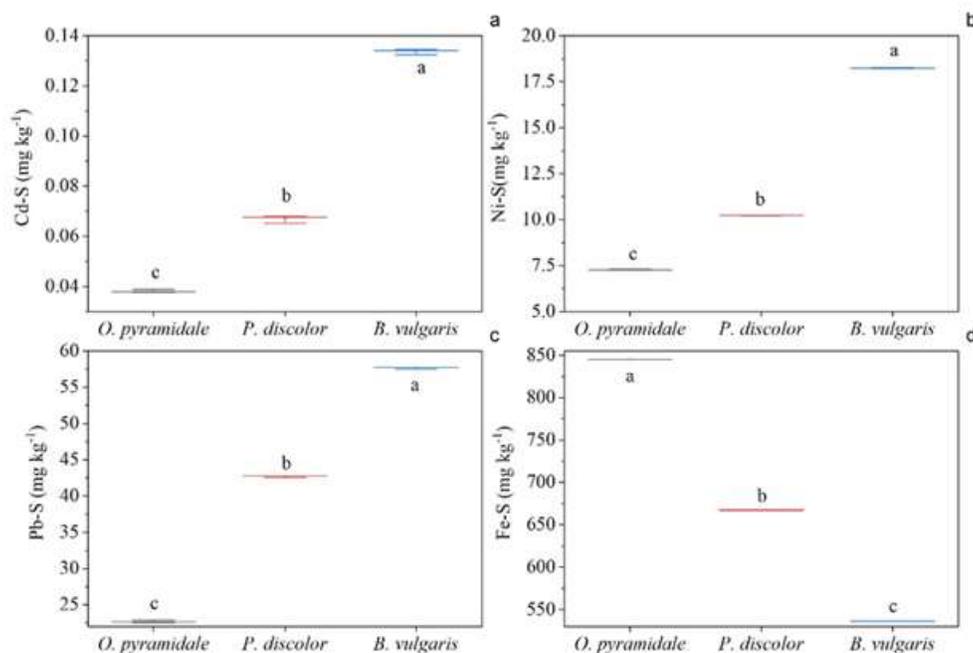


Figura 3. - Resultados de la concentración de metales pesados en el suelo donde se desarrollaron las especies (*O. pyramidale*, *P. discolor*, *B. vulgaris*). (a) Cd-S (Cadmio suelo), (b) Ni-S (Niquel suelo), (c) Pb-S (Plomo suelo) y (d) Fe-S (Hierro suelo). En el interior de la figura letras desiguales indicaron diferencias significativas mediante el análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey ($p \leq 0,05$).

Los resultados del factor de bioconcentración (Figura 4) indicaron que la especie *P. discolor* se reportó con mayor potencialidad para la absorción de Cd con valores de 5,23, resultando con diferencias significativas con el resto de las especies estudiadas, lo que sugiere su alta capacidad bioacumuladora en Cd. Este mismo comportamiento resultó para el elemento Pb, con valores superiores a 1,3. Estos resultados son interesantes por cuanto se trata de una especie pionera de la familia Asteraceae que crece de forma natural en los claros, con alto grado de cobertura en bosques secundarios (González *et al.*, 2018). Esto sugiere su uso como especie fitorremediadora en sitios donde se realizan prácticas de extracción minera y existe evidencia de contaminación por metales pesados de Cd y Pb.

Sin embargo, la especie *O. pyramidale* presentó la mayor capacidad de acumulación de Ni con valores superiores a 0,8, indicando su potencialidad para sitios con alto contenido de Ni y *B. vulgaris* resultó con mayor capacidad de acumulación de Fe con valores superiores a 0,29, por lo que se sugiere su uso potencial para sitios contaminados por Fe.



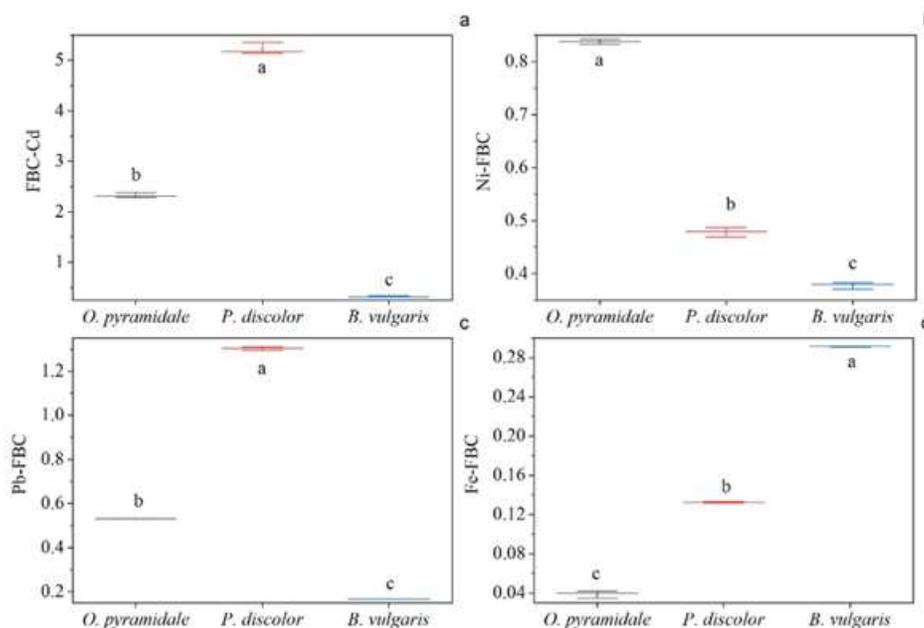


Figura 4. - Resultados del factor de bioconcentración de metales pesados de las especies (*O. pyramidale*, *P. discolor* y *B. vulgaris*). (a) FBC-Cd (factor de bioconcentración de Cadmio), (b) Ni-FBC (factor de bioconcentración de Niquel), (c) Pb-FBC (factor de bioconcentración de Plomo) y (d) Fe-FBC (factor de bioconcentración de Hierro). En el interior de la figura letras desiguales indicaron diferencias significativas mediante el análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey ($p \leq 0,05$).

La matriz de correlación de Pearson (Figura 5) para el total de las especies analizadas mostró una correlación positiva y negativa, inferior al 50%, entre la concentración de metales pesados entre las hojas y el suelo. Estos resultados indicaron que las especies del presente estudio, en sentido general, no absorben todo lo que se encuentra disponible en el suelo. En este sentido Song *et al.*, (2007) informan que la capacidad de las plantas de bioacumulación no depende completamente de la concentración de metales pesados en el suelo, sino que está relacionado con la fisiología de la planta y la capacidad de protección de esta. Cuando las plantas están estresadas por metales pesados tienen la capacidad de regular activamente la concentración de los elementos (Fernández *et al.*, 2017; Miao *et al.*, 2011)



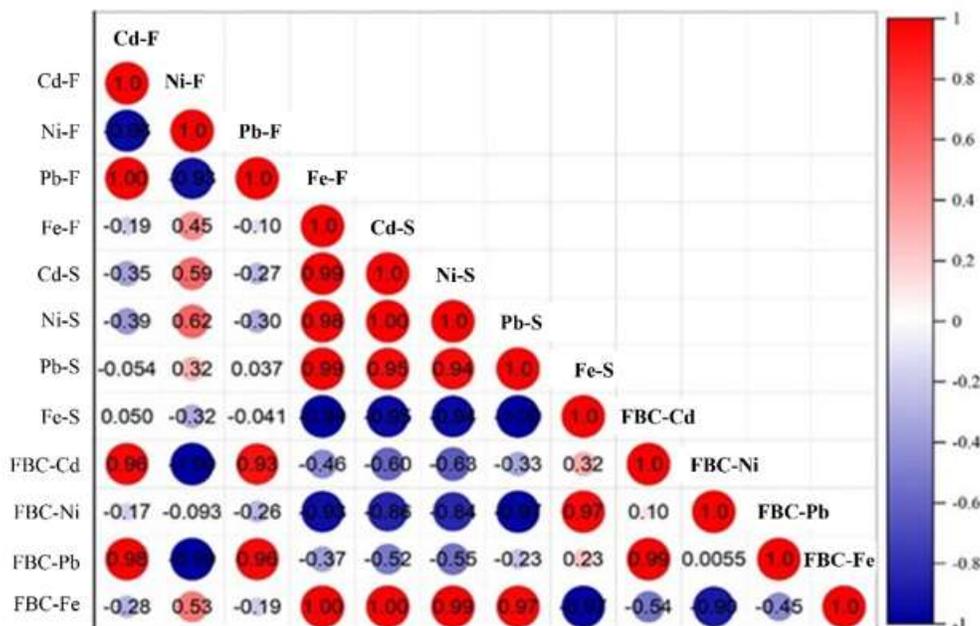


Figura 5. - Correlación entre la concentración de metales pesados en las hojas, el suelo y el factor de bioconcentración (el valor numérico dentro de la matriz corresponde al coeficiente de correlación de Pearson). La escala de la derecha significa los valores del coeficiente de correlación, positivo y negativo, que oscila entre +1 y -1 (los colores azules y rojos intenso corresponden a valores cercanos al +1 y -1 con alta correlación y colores claros baja correlación). La nomenclatura de la izquierda significa las variables codificadas (Cd-F (Cadmio foliar), Ni-F (Niquel foliar), Pb-F (Plomo foliar), Fe-F (Hierro foliar), (Cd-S (Cadmio suelo), Ni-S (Niquel suelo), Pb-S (Plomo suelo), Fe-S (Hierro suelo))

El análisis de componentes principales (PCA), como método de ordenación, indicó la reducción de dos componentes que explicaron en su totalidad el 100% de la variabilidad total de los datos. El sistema de coordenadas, determinado por los componentes principales, permitió identificar que en el eje PC1 se separó la especie *B. vulgaris*, que se encuentra ubicada en el lado positivo del eje. La especie *B. vulgaris* mostró mayor relación con la concentración de Pb en el suelo, Fe en la planta, Cd en el suelo y Ni en el suelo. La especie *P. discolor* se encontró en el lado negativo del PC1 resultando con mayores concentraciones de Pb y Cd en la planta. La especie *O. pyramidale* se encontró en el lado negativo del eje PC2,



y se caracterizó por mayores concentraciones de Fe en el suelo. El análisis del factor de bioconcentración, en el sistema de coordenadas, resultó con un patrón diferenciado entre las especies forestales analizadas, reflejando para *P. discolor* mayor retención de Cd y Pb, en *O. pyramidale* mayor retención de Ni y en *B. vulgaris* de Fe. Esto sugiere la capacidad bioacumuladora de *P. discolor* para Cd y Pb, de *O. pyramidale* para Ni y de *B. vulgaris* para Fe, lo cual podría usarse como especies fitorremediadoras para sitios contaminados por metales pesados (Figura 6).

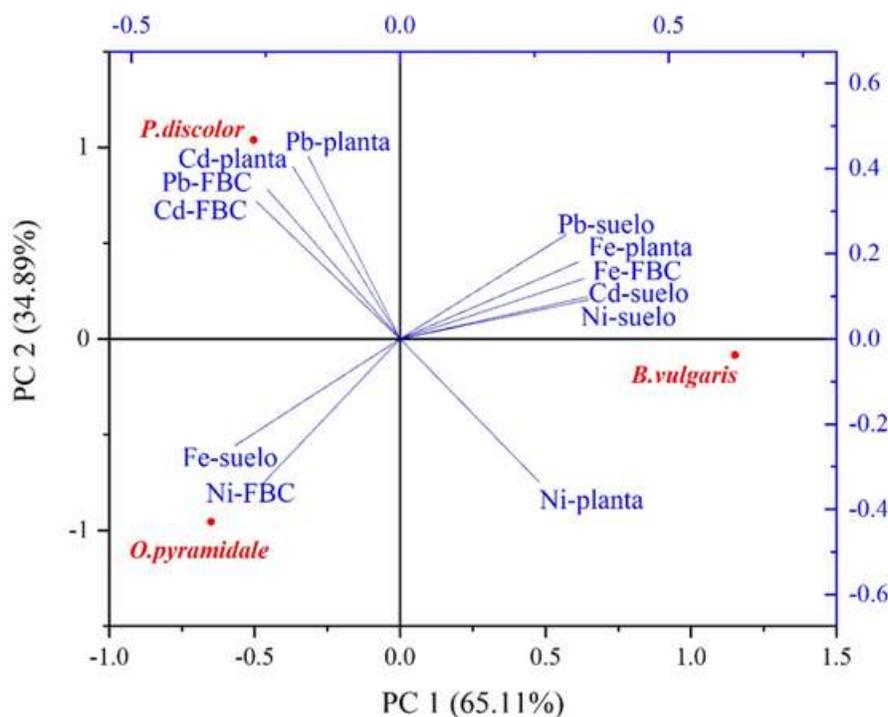


Figura 6. - Resultados del análisis de componentes principales (PCA) de las concentraciones de metales pesados (Cd, Ni, Pb y Fe) en hojas, suelo y factor de bioconcentración de tres especies (*O. pyramidale*, *P. discolor* y *B. vulgaris*).



CONCLUSIONES

El potencial bioacumulador de metales pesados (Cd, Ni, Fe y Pb) obtenido a partir del factor de bioconcentración (FBC), indicó la capacidad de las especies forestales estudiadas para acumular metales pesados en sitios contaminados por la actividad minera. Esto sugiere que *P. discolor* puede ser utilizada como especie fitorremediadora para sitios contaminados por Cd y Pb, *O. pyramidale* para Ni y *B. vulgaris* para Fe. Estos resultados pueden ser útiles para recomendar estudios similares con otras especies autóctonas, lo que resulta una alternativa factible para la recuperación del paisaje forestal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISIEN, F., OLUWOLE, F. y AISIEN, E., 2010. Phytoremediation of Heavy Metals in Aqueous Solutions. *Leonardo Journal of Sciences* [en línea], vol. 9, no. 17, Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a00fc1cfaa8bfd3e474be2040dcf287f32b8b8cc>.
- ALAHABADI, A., EHRAMPOUSH, M.H., MIRI, M., EBRAHIMI AVAL, H., YOUSEFZADEH, S., GHAFFARI, H.R., AHMADI, E., TALEBI, P., ABASZADEH FATHABADI, Z., BABAI, F., NIKOONAHAD, A., SHARAFI, K. y HOSSEINI-BANDEGHARAEI, A., 2017. A comparative study on capability of different tree species in accumulating heavy metals from soil and ambient air. *Chemosphere* [en línea], vol. 172, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.01.045. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517300553>.
- DELGADO FERNÁNDEZ, E., LEÓN PERALTA, M., CANTOS GUAMÁN, C. y GUZMÁN JUÁREZ, M., 2023. Efecto de la actividad minera sobre la biodiversidad en un sector del cantón Paquisha, provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* [en línea], vol. 38, no. 2, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 1390-8596. DOI 10.17163/lgr.n38.2023.08. Disponible en:



http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-85962023000200106&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

FERNÁNDEZ-ONDOÑO, E., BACCHETTA, G., LALLENA, A.M., NAVARRO, F.B., ORTIZ, I. y JIMÉNEZ, M.N., 2017. Use of BCR sequential extraction procedures for soils and plant metal transfer predictions in contaminated mine tailings in Sardinia. *Journal of Geochemical Exploration* [en línea], vol. 172, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 0375-6742. DOI 10.1016/j.gexplo.2016.09.013. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674216302345>.

FRANCO, L.F.L., MUÑOZ, P.T.L. y GARCIA, F.G.M., 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], vol. 14, no. 2, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 1909-9959. DOI 10.18684/BSAA(14)145-153. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/489>.

GREKSA, A., LJEVNAIÆ-MAŠIÆ, B., GRABIC, J., BENKA, P., RADONIC, V., BLAGOJEVIÆ, B. y SEKULIÆ, M., 2019. Potential of urban trees for mitigating heavy metal pollution in the city of Novi Sad, Serbia. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea], vol. 191, no. 10, DOI 10.1007/s10661-019-7791-7. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335841644_Potential_of_urban_trees_for_mitigating_heavy_metal_pollution_in_the_city_of_Novi_Sad_Serbia.

ISO, 11466, 1995. *Soil quality - extraction of trace elements soluble in aqua regia*. [en línea]. 1995. S.I.: ISO. Disponible en: <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/01/94/19418.html>.

JACKA, J.K., 2018. The Anthropology of Mining: The Social and Environmental Impacts of Resource Extraction in the Mineral Age. *Annual Review of Anthropology* [en línea], vol. 47, no. Volume 47, 2018, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 0084-6570, 1545-4290. DOI 10.1146/annurev-anthro-102317-050156. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/content/journals/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* [en línea], vol. 21, no. 2, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 1727-9933. DOI 10.15381/rpb.v21i2.9817. Disponible en:
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/9817>.

KABATA-PENDIAS, A., 2010. *Trace elements in soils and plants: Fourth edition* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-0-429-19203-6. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/328611305_Trace_elements_in_soils_and_plants_Fourth_edition.

KALRA, Y., 1997. *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis* [en línea]. S.l.: CRC Press. ISBN 978-1-4200-4939-8. Disponible en:
<https://books.google.co.ve/books?id=wLggXPmhY18C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.

LIU, X., TIAN, G., JIANG, D., ZHANG, C. y KONG, L., 2016. Cadmium (Cd) distribution and contamination in Chinese paddy soils on national scale. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 23, no. 18, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-016-6968-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6968-7>.

LIU, Y.-B., LIU, L., LI, Y.-F. y CHEN, Y.-L., 2015. Relationship between Health Literacy, Health-Related Behaviors and Health Status: A Survey of Elderly Chinese. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [en línea], vol. 12, no. 8, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 1661-7827. DOI 10.3390/ijerph120809714. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4555308/>.

MIAO, L., MA, Y., XU, R. y YAN, W., 2011. Environmental biogeochemical characteristics of rare earth elements in soil and soil-grown plants of the Hetai goldfield, Guangdong Province, China. *Environmental Earth Sciences* [en línea], vol. 63, no. 3, [consulta: 8 abril



2024]. ISSN 1866-6299. DOI 10.1007/s12665-010-0718-9. Disponible en:
<https://doi.org/10.1007/s12665-010-0718-9>.

ŠICHOROVÁ, K., TLUSTOŠ, P., SZÁKOVÁ, J., KOŮÍNEK, K. y BALÍK, J., 2004. Horizontal and vertical variability of heavy metals in the soil of a polluted area. *Plant, Soil and Environment* [en línea], vol. 50, no. 12, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 12141178, 18059368. DOI 10.17221/4069-PSE. Disponible en: <https://doi.org/10.17221/4069-PSE>.

SONG, C., LEI, L. y YANG, Q., 2007. Pb, Cu botanogeochemical anomalies and toxic effects on plant cells in Pb-Zn (Sn) ore fields, Northeast Guangxi Autonomous Region, China. *Chinese Journal of Geochemistry* [en línea], vol. 26, no. 3, [consulta: 8 abril 2024]. ISSN 1993-0364. DOI 10.1007/s11631-007-0329-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11631-007-0329-7>.

TULSMA, 2012. *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente*,. S.l.: TULSMA. Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003, 1319. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

