UEA Biología
PrePrint UEA

Sección Biología
Vol. BIO2324. ep19–147

| Recibido: 14/03/2026 |
| Aceptado: 15/04/2026 |
| Publicado: 11/11/2026 |

Evaluación de metales pesados en especies de interés ecológico con predominio en zonas mineras en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador.

Evaluation of heavy metals in species of ecological interest predominant in mining areas in the Carlos Julio Arosemena Tola canton, Napo province, Ecuador.

Michelle Dayuma Sánchez López[1], Jefferson Leonardo Vera Zambrano[1] Carolina Bañol Pérez[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vBIO2324ep19-147 Crossref

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la acumulación de metales pesados en dos especies arbustivas *Miconia crocea* (Colca) y *Cecropia peltata* (Guarumo) en zonas perturbadas por la actividad minera en el Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo. El área de estudio fue en la comunidad de San Francisco de Chucapi donde se obtuvieron muestras de hojas, hojarasca y suelo en ambas especies. Posteriormente se realizó la digestión de las muestras y la preparación de los estándares con reactivos de metales pesados considerados (Cu, Zn, Co, Ni y Cd), seguidamente se dio lectura de los resultados mediante el espectrofotómetro de absorción atómica. El análisis de la varianza y la prueba de Tukey determinaron la concentración de los metales en las secciones de ambas plantas y mediante los Análisis de Clúster y de Componentes Principales (PCA) se determinaron los grupos similares según las variables de concentración de los metales en las especies y la separación de las plantas según las concentraciones de elementos en las secciones descritas. Estos resultados muestran que la *M. crocea* presentó mayor acumulación de Cu y Zn en las hojas y en el suelo y el Co fue el metal más absorbido por las hojas y la hojarasca de *C. peltata*. En contraste, se determinó que el Cd fue el metal con menor presencia en las especies analizadas, esto conlleva a que ambas especies son bioacumuladoras de metales, pero *M. crocea* fue levemente superior en la absorción de los metales en zonas contaminadas.

Palabras clave

Miconia crocea, Cecropia peltata, fitorremediación, hojarasca, suelo, minería.

Abstract

The aim of the research was to evaluate the accumulation of heavy metals in two shrub species *Miconia crocea* (Colca) and *Cecropia peltata* (Guarumo) in areas disturbed by mining activity in the Canton Carlos Julio Arosemena Tola, Province of Napo. The study area was in the community of San Francisco de Chucapi where leaf, leaf litter and soil samples were obtained from both species. Subsequently, the samples were digested and the standards were prepared with reagents of the heavy metals considered (Cu, Zn, Co, Ni and Cd), then the results were read using an atomic absorption spectrophotometer. The analysis of variance and Tukey's test determined the concentration of metals in the sections of both plants and by means of Cluster and Principal Component Analysis (PCA) the similar groups were determined according to the variables of concentration of metals in the species and the separation of the plants according to the concentrations of elements in the sections described. These results show that *M. crocea* presented higher accumulation of Cu and Zn in leaves and soil and Co was the most absorbed metal by leaves and leaf litter of *C. peltata*. In contrast, it was determined that Cd was the metal with the lowest presence in the analyzed species, which implies that both species are bioaccumulators of metals, but *M. crocea* was slightly superior in the absorption of metals in contaminated areas.

Keywords

Miconia crocea, Cecropia peltata, phytoremediation, leaf litter, soil, mining.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: md.sanchezl@uea.edu.ec, jl.veraz@uea.edu.ec, cbanol@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Michelle Dayuma Sánchez López. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: md.sanchezl@uea.edu.ec

Cómo citar

SÁNCHEZ LÓPEZ, Michelle Dayuma, VERA ZAMBRANO, Jefferson Leonardo and BAÑOL PÉREZ, Carolina 2026. Evaluación de metales pesados en especies de interés ecológico con predominio en zonas mineras en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador.. PrePrint UEA. Vol. BIO2324. p. ep19–147. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vBIO2324ep19-147

Editores Académicos Elizabeth Del Carmen Ramírez Iglesias

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 región amazónica, es considerada un ecosistema único, con un potencial ecológico importante ya que está conformado por bosque húmedo tropical, con el 44 % en la Amazonía. La cuenca amazónica produce aproximadamente del 16 al 20 % de agua dulce del planeta y alberga un 25 % de la biodiversidad terrestre, como indica World Wildlife Fund (WWF), es un lugar biodiverso, en donde se descubre una nueva especie cada tres días. El Ecuador es un país con abundancia ecosistémica, que cobija una gran cantidad de especies biológicas (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA)), ocupando la Amazonía el mayor porcentaje de biodiversidad (aproximadamente el 80 %) de la nación, dentro de la cual se encuentran de 150 a 312 especies arbóreas por hectárea, 250 especies de anfibios y reptiles y unas 600 especies de peces

En contraste, el impacto ambiental a causa de diversas actividades antropogénicas como la deforestación, la agricultura, la minería, entre otras están en constante crecimiento y pun-

tualmente para la Amazonía, el desarrollo del sector minero destruye miles de hectáreas de bosque anualmente. Esta actividad puede ser considerada en el país como reciente, ya que varios acuerdos mineros empezaron su auge en la década de los 90. En el año 2017, Ecuador se consolida en estas actividades extractivas mediante la 85ª convención mundial sobre proyectos y exploraciones, evento minero con gran realce en todo el planeta . Las industrias mineras fueron en aumento, de igual manera grupos de minería ilegal. Esta industria sobre todo en la zona de explotación suele ser acogida por la población por sus beneficios económicos, sin considerar las problemáticas sociales y ambientales que se producen posteriormente, entre los efectos críticos medioambientales, está la acumulación gradual de metales pesados en el suelo, agua y aire, ocupando largos tramos de la zona contaminada . En la extracción de metales pesados, se manejan varios productos químicos, tales como ácidos concentrados, cianuro, mercurio, entre otros, causando inestabilidad en el ciclo hidrológico y provocando contaminación en los ecosistemas, terrestres y acuáticos Por consiguiente, a causa de esta actividad, la fragmentación del hábitat, la deforestación y la disminución en la disponibilidad de recursos, ha generado la desaparición de innumerables especies Sin embargo, queda a discusión el impacto social, conociendo bajo investigación científica que la extracción minera sin un manejo y tratamiento adecuados causan un daño severo al ambiente y a la salud de la población Tal como, el alto impacto ambiental producido sobre el recurso suelo después de la extracción aurífera, en el cual cambia su composición natural y se desgastan cientos de hectáreas de tierra, igualmente en el recurso agua, que cambia su composición química y contamina todos los organismos presentes o que tienen contacto con ella, .

Es importante recalcar que una tecnología aplicable a estos problemas es la fitorremediación, la cual emplea la unión de plantas, técnicas agronómicas y enmiendas del suelo, con el fin de disminuir, retener o eliminar la toxicidad en este caso de metales pesados,

Los análisis realizados sobre el potencial bioacumulador en especies forestales y arbustivas, sirven como un medio de solución a la problemática de los metales pesados por la minería en el ambiente (Solis Dufflocq 2020), debido a que varias plantas pueden adquirir múltiples estrategias ante estos componentes, como en algunas especies que soportan altas concentraciones de metales pesados en el sustrato, lo que quiere decir que retienen su absorción y traslocación hacia las hojas, llamada estrategia de exclusión. Así mismo otras especies absorben y acumulan energéticamente en su biomasa aérea conocida como estrategia acumuladora, para lo cual se necesitan características fisiológicas sumamente especializadas por parte de la planta. Las especies que pueden acumular y absorber metales pesados, por encima de lo normal como en suelos conglomerados por la contaminación antropogénica o por la geoquímica natural del suelo, adoptan el nombre de hiperacumuladoras, entre sus características están la poca biomasa en sus tejidos, ya que aprovechan la mayor cantidad de energía en mecanismos que asimilan elevadas concentraciones de metales

Según estudios realizados se manifiesta que absolutamente todas las plantas absorben metales del suelo, esto lo hacen en un grado distinto El proceso de bioacumulación en plantas depende de varios factores fisiológicos, bióticos, y abióticos. Se menciona que los elementos como el Pb y Cd en altas concentraciones, llegan a tener efectos negativos en las plantas como una menor tasa de germinación en las semillas, un menor crecimiento de plántulas, deficiencia en la capacidad fotosintética y también clorosis conocida como coloración amarillenta en las hojas (Rodríquez-Serrano et al. 2008). Sin embargo, la bioacumulación de Pb dependerá de la especie. En la presente investigación se han elegido dos especies con características favorables ante casos de remediación ambiental, *M. crocea* y *C. peltata*. La primera especie perteneciente a la Familia Melastomaceae y al género *Miconia* es uno de los más grandes y ricos en el Neotrópico, con aproximadamente 1.060 especies que llegan a distribuirse desde México cruzando todo Centroamérica y América del Sur, hasta llegar al norte de Argentina . Dentro de esta familia se encuentran arbustos, hierbas y árboles . Por otro lado, *C. peltata* se distribuye en áreas tropicales, que recorren desde la parte sur de México, pasando por todo centro América, hasta el norte de Sudamérica, esta especie puede llegar a medir hasta 20 metros de altura en bosques tropicales haciendo parte de la vegetación secundaria, particularmente esta especie es considerada invasora ya que tiene un crecimiento exponencial

En Ecuador la extracción minera, junto con la aglomeración de relaves en gran magnitud de la grava lavada principalmente en la extracción de oro y la deforestación son actividades que lastimosamente no se controlan en su totalidad y el Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, ubicado en la Provincia de Napo no ha sido ajeno a esta práctica, perjudicando e incrementando la contaminación del agua y del suelo, debido también a que no se ejecutan técnicas apropiadas (Prefectura de Napo 2020). A esta zona como a otras dentro de la provincia, la minería ha causado la alteración ecosistémica durante años. Como se registró en el periodo 2017 y 2022, 81.9 hectáreas afectadas (Villacís et al. 2022). Dentro del cantón, se sitúa la comunidad San Francisco de Chucapi, lugar de muestreo, en donde una de las siete zonas de explotación aurífera cesó sus actividades el 20 de enero del 2023 (El Oriente 2023). Sin embargo, los efectos provocados estarán presentes en el cantón y sus alrededores, durante largos periodos de tiempo.

Por lo anteriormente mencionado, la presente investigación tiene como objetivo determinar el potencial bioacumulador de metales pesados de dos plantas arbustivas *Miconia crocea* (Colca) y *Cecropia peltata* (Guarumo) como especies fitorremediadoras en zonas degradadas por la actividad minera en la provincia de Napo.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El área estudiada se ubica en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola, de la provincia de Napo, al oriente del Ecuador (1°10’0” S, 77°5’0” W), siendo el acceso principal a la provincia (AME, 2022). La zona presenta una temperatura promedio anual de 24.1 °C, una precipitación promedio de 3300 a 3600 mm anuales y una humedad relativa del 80 %. En las orillas del río Chucapi, situado en la comunidad San

Francisco de Chucapi, se recolectaron las muestras vegetales de *M. crocea* y *C. peltata*, así como muestras de suelo **Figura 1**, para evaluar su capacidad bioacumuladora al estar expuestas a la contaminación ambiental del lugar.



Figura 1 | Ubicación geográfica de las zonas de muestreo de las especies recolectadas en la parroquia Carlos Julio Arosemena Tola, comunidad San Francisco de Chucapi.

2.2. Tipo de investigación

En la presente investigación se utilizó el método experimental analítico - deductivo. El análisis de las ciencias exactas y naturales suelen tener diversas modalidades que se complementan con el razonamiento en relación con los resultados, para precisar consecuentemente a ellos (Lopera, Ramírez, Zuluaga & Ortiz, 2010,18). Mediante la deducción se crea una relación entre la teoría y la observación . En ese sentido, el método experimental tiene por objeto, identificar las variables idóneas para la indagación de datos de interés, verificando así cambios en los mismos (Lifeder, 2022). En referencia a estas bases metodológicas se evaluó el potencial bioacumulador de dos especies de plantas *M. crocea* y *C. peltata* mediante el análisis de concentración de metales pesados en hojas, hojarasca y suelo, para deducir su capacidad fitorremediadora.

2.3. Muestreo de material vegetal y suelo

Las muestras se colectaron en la parroquia Carlos Julio Arosemena Tola en dos sectores, el primero a orillas del río Chucapi lugar donde existió extracción de oro, allí se seleccionaron tres individuos de *M. crocea* y tres árboles de *C. peltata* en buen estado físico, plantas que por sus características morfológicas son de fácil reconocimiento en campo. Estas especies fueron seleccionadas por su ligera adaptación y su amplia distribución en la Amazonía, así como también por su rápido crecimiento. El segundo sitio se ubicó en una zona con características puntuales, vegetación abundante y poca intervención humana (valor de fondo: VF) (Fig. 1). La selección de muestras consistió en escoger tres individuos de cada especie (S1, S2 y S3) expuestos al sol y extraer hojas adultas y jóvenes alrededor de toda la copa de la planta (HC: hoja colca y HG: hoja guarumo); para la hojarasca se recolectaron muestras bajo los individuos de cada especie (HJRC: hojarasca colca y HJRG: hojarasca guarumo), y para las muestras de suelo se seleccionaron tres lugares alrededor de cada individuo de la planta y se removió el sustrato hasta llegar a una profundidad de 0-30 cm, posteriormente se extrajo la muestra de cada lugar (SC: suelo colca y SG: suelo guarumo). A continuación, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Ambiental y de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica para sus respectivos análisis.

2.4. Análisis de metales pesados en muestras de hojas, hojarasca y suelo

Las muestras de hojas (H), hojarasca (HJR) y suelo (S) recolectadas de ambas especies se sometieron a secado en una estufa a condición de 60 ºC por 48 horas previa limpieza superficial de insectos y raíces. Posteriormente, se trituraron las muestras secas manualmente mediante mortero hasta obtener un polvo homogéneo de partículas menores a 2 mm (Greksa et al. 2019). Para realizar la digestión por microondas se utilizaron viales separadores de condensados, uno de ellos para el sensor de temperatura necesario en el microondas. Se pesó 0,5 g de cada muestra seca (hoja, hojarasca y suelo) y luego se agregó 1 ml de peróxido de hidrógeno (H2O2) al 30 %, seguido de 7 ml de ácido nítrico (HNO3) al 65 %. Los viales se cerraron y se colocaron en un equipo de digestión asistida por microondas (ETHOS ONE) durante 50 minutos. Una vez que se completó el proceso de digestión, se dejó reposar la muestra a temperatura ambiente (Wang et al. 2019).

Una vez digeridas, las muestras se transfirieron a un matraz aforado previamente etiquetado, al que se le añadió agua destilada hasta un volumen final de 25 mL. Posteriormente, las muestras fueron filtradas antes del análisis. Para la lectura de minerales se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica Aurora Intruments LTD (YOUNGLIN AAS 8020) con un software procesador de datos Trace 1200 con tipos de lámparas para Cu, Zn, Co, Ni, Cd respectivamente.

La preparación de los estándares para medir la concentración de metales una vez finalizado con las muestras de la preparación de estándares y de las muestras líquidas de hojas y suelos a base de filtración procedimos a llevar las muestras al equipo de Espectrofotómetro AA y abrimos el software WIBLAB 32 versión 2022 para crear el método y seguir las indicaciones del equipo para leer los estándares para generar la curva de calibración y así proceder a leer las muestras para obtener la concentración del analítico en PPM en longitudes de onda

2.5. Lectura de muestras

Las lecturas se realizaron en el espectrofotómetro de absorción atómica mediante una cámara de nebulización en llama para atomizar la muestra, utilizando lámparas de los metales mencionados conjuntamente con un blanco (ácido nítrico 1Mol/L). Seguidamente, se inició la preparación de los cinco estándares de Cu, Zn, Co, Ni, Cd en porcentajes de 0.25, 0.50, 1, 2.5 y 4 de la solución madre con 1mL o 1000 Mg/ L de cada reactivo, en las cuales se dio lectura a 27 muestras que se obtuvieron del proceso de digestión.

2.6. Análisis de datos

Para determinar diferencias significativas entre cada uno de los metales pesados Cu, Zn, Co, Ni, Cd y las especies

analizadas *M. crocea* y *C. peltata* se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$, y la prueba de Tukey para establecer las concentraciones de los metales analizados en las hojas, hojarasca y en el suelo donde crecen las plantas estudiadas. En el Análisis de Clúster se clasificó en grupos homogéneos, según las variables de concentración de metales pesados en las especies. Posteriormente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para establecer la separación de las plantas analizadas según las concentraciones de metales pesados en las fracciones descritas (hojas, hojarasca y suelo). Los análisis estadísticos presentados fueron elaborados en el software Científico Origin Vs. 2021.

3. Resultados

3.1. Concentración de metales pesados en hojas

La obtención de la concentración de metales pesados en el segmento foliar de las especies estudiadas *M. crocea* (Colca) y *C. peltata* (Guarumo) indicó diferencias significativas ($P \leq 0{,}05$) **Figura 2** mediante el análisis de la varianza (ANOVA) y la prueba Tukey. Por ejemplo, las hojas de colca (S1HC) tuvieron una concentración de Cu significativamente mayor (747.50 mg/kg) que las hojas de guarumo S1HG (363.24 mg/kg), al igual que la concentración de Zn fue menor en guarumo S2HG (432.07 mg/kg) que en colca S3HC (1302.50 mg/kg). Sin embargo, la colca tuvo menor concentración de Co y Cd con respecto al guarumo según los valores correspondientes: para Co S3HG (4361.50 mg/kg) y S1HC (2991.05 mg/kg) y para Cd S2HG (2.57 mg/kg) y S2HC (0.43 mg/kg).

3.2. Concentración de metales pesados en hojarasca

El análisis de la varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey mostraron diferencias significativas en la concentración de metales pesados Cu, Zn, Co, Ni y Cd en la hojarasca de las dos especies estudiadas **Figura 3**. Así, la mayor concentración de Cu se encontró en la hojarasca del guarumo (S3HJRG) con un total de 828.02 mg/kg y su menor concentración se halló en la hojarasca de la colca (S1HJRC) con 470.00 mg/kg. Así mismo, la colca (S3HJRC) tuvo una concentración de Zn significativamente mayor con 2674.32 mg/kg, que la hojarasca del guarumo (S1HJRG) con 1359.00 mg/kg. Por su parte, el guarumo (S2HJRG) obtuvo una concentración mayor significativa de Co (4476.12 mg/kg) con respecto a la colca (S2HJRC) con un valor de 3048.00 mg/kg. Finalmente, en las concentraciones de Ni y Cd no se encontraron diferencias con respecto a las especies analizadas.

Al analizar la varianza (ANOVA) y la prueba Tukey para la concentración de metales en el suelo de las dos especies analizadas **Figura 4**, la colca tuvo significativamente mayor concentración de Cu y Zn que el guarumo, siendo S3SC con 1660.50 mg/kg y S1SG con 261.75 mg/kg de Cu y S2SC con 3572.50 mg/kg y S1SG con 1963.00 mg/kg de Zn. En el elemento Co, se observa como el patrón se asemeja tanto en hojarasca y hoja en ambas especies, porque este elemento tiene altas concentraciones comparadas con los otros metales. No se presentaron diferencias significativas entre las especies para la concentración de Ni y Cd.

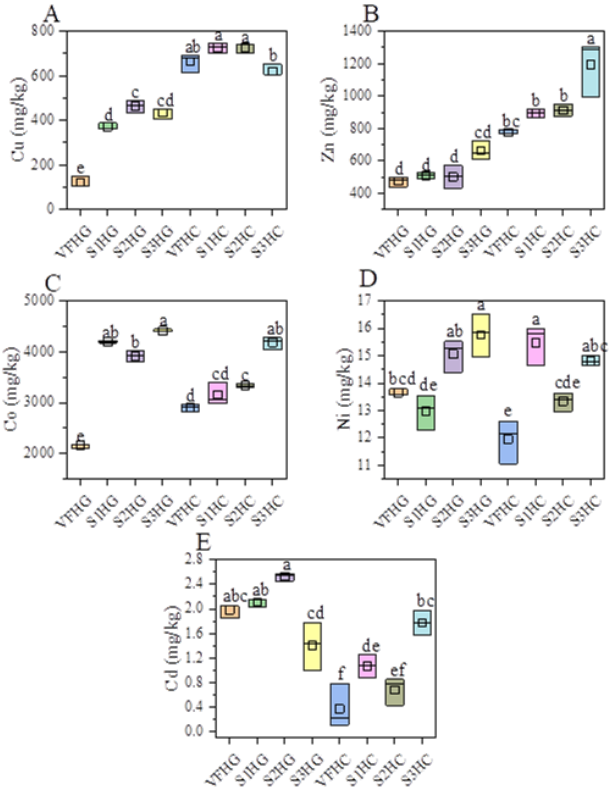

Figura 2 | Análisis de la varianza ANOVA ($P \leq 0{,}05$) de la concentración de los metales pesados (A) Cu, (B) Zn, (C) Co, (D) Ni, (E) Cd presentes en la sección foliar (H) de M.

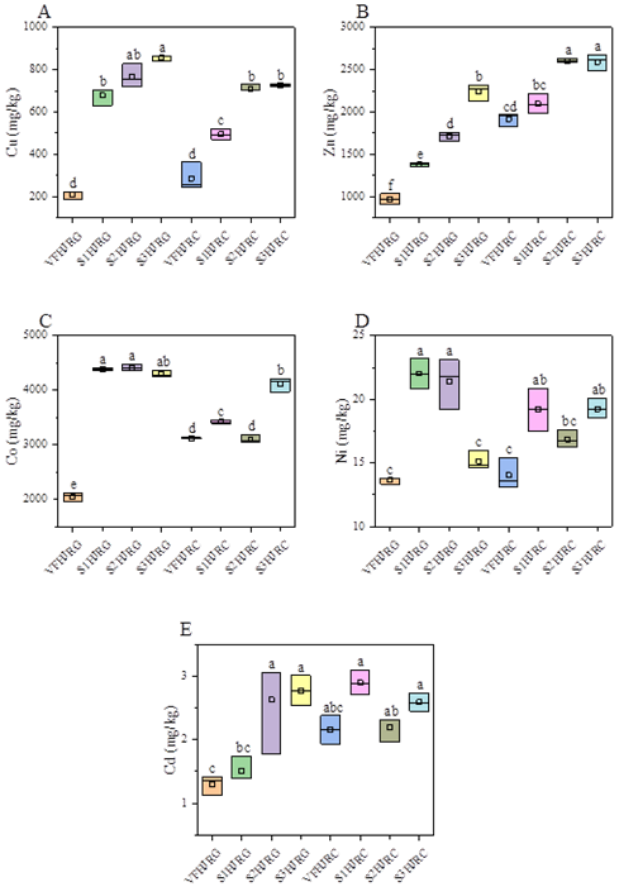

Figura 3 | Análisis de la varianza ANOVA ($P \leq 0{,}05$) de la concentración de los metales pesados (A) Cu, (B) Zn, (C) Co, (D) Ni, (E) Cd presentes en hojarasca (HJR) de M.

3.3. Concentración de metales pesados en suelo

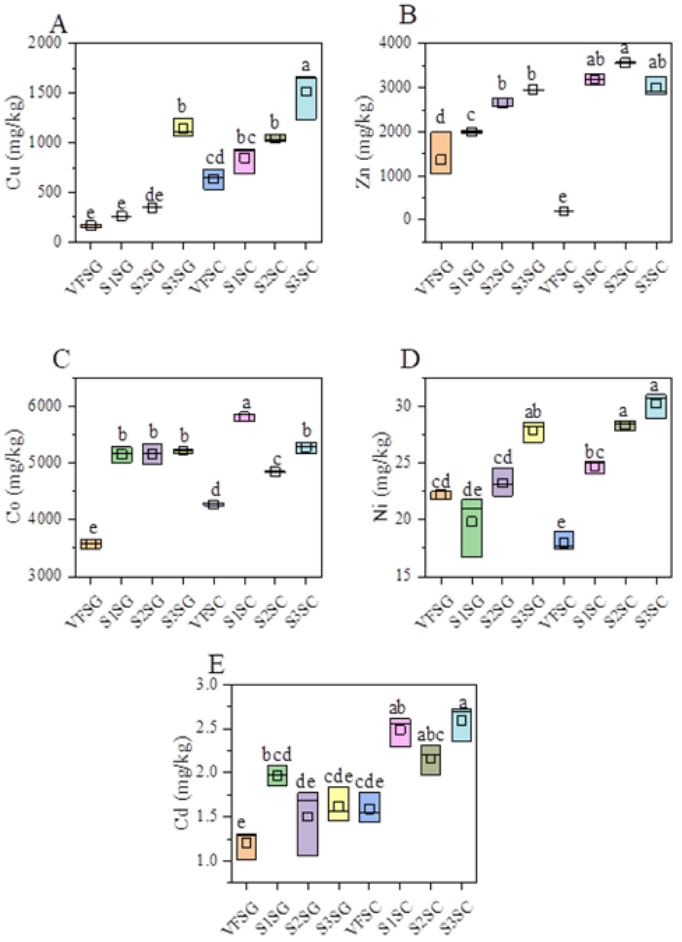

Figura 4 | Análisis de la varianza ANOVA (P ≤ 0,05) de la concentración de los metales pesados (A) Cu, (B) Zn, (C) Co, (D) Ni, (E) Cd presentes en el suelo (S) de M. crocea y C. peltata (letras iguales no presentan diferencias significativas)

3.4. Análisis Clúster

Los resultados del análisis de Clúster para *M. crocea* y *C. peltata* permitieron agrupar en cinco grupos la concentración de metales pesados (Cu, Zn, Co, Ni, Cd) en sus tres secciones: hoja, hojarasca y suelo **Figura 5**. El primer grupo se formó por la concentración de Co en el suelo para las dos especies. El segundo grupo formado por las concentraciones de Co en las hojas y en la hojarasca de guarumo y en el suelo de la colca.

El tercer grupo lo comprenden las concentraciones de Zn y Co en la hojarasca y el suelo de colca con mayor porcentaje y en Zn en el suelo del guarumo. Las concentraciones del cuarto grupo fueron de Cu en el suelo y Zn en la hojarasca, ambos en las dos especies. El quinto grupo lo formaron las concentraciones de Ni, Cd, Cu y Zn en las hojas, hojarasca y suelo de las dos especies estudiadas. Las agrupaciones formadas facilitaron la clasificación de las dos especies de acuerdo a la capacidad para acumular metales pesados, y de esta manera facilitar la selección de las especies con mayor capacidad fitorremediadora en zonas contaminadas por la minería.

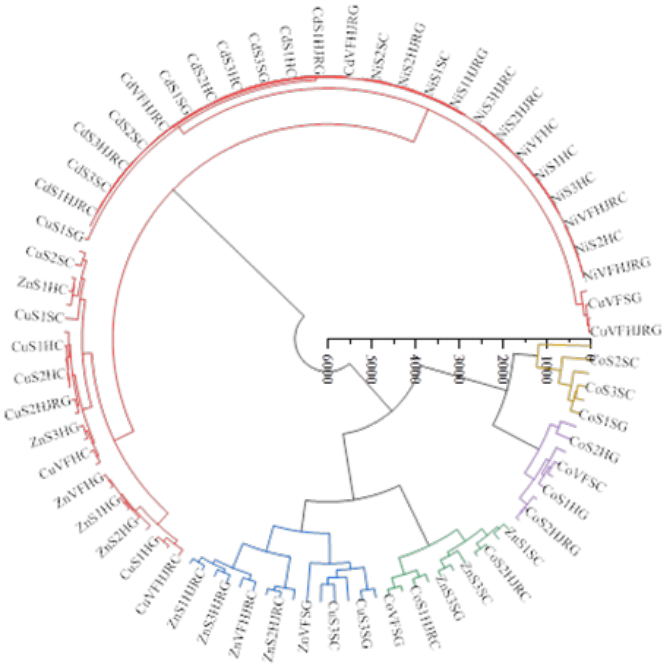

Figura 5 | Análisis Clúster de las concentraciones de metales pesados (Cu, Zn, Co, Ni, Cd) en hojas, hojarasca y suelo de las especies M. crocea y C. peltata

3.5. Análisis de componentes principales (PCA)

Según el análisis de los componentes principales PCA, el conjunto de datos inicial se redujo a dos componentes principales que explicaron el 77,94% de la variabilidad total de los datos, el cual el PC 1 explicó el 61.32% de la variabilidad de los datos y el PC 2 el 16.62% **Figura 6**. Al observar las plantas en el sistema de coordenadas, determinado por los componentes principales, se puede identificar que el eje PC 1, separa las fracciones de hojarasca de *M. crocea* y *C. peltata* y las fracciones de suelo de ambas especies que están en el lado positivo del eje y tuvieron valores más bajos de Ni y Co en el suelo. De las hojas de colca que están en el lado negativo del eje y se caracterizan por menores concentraciones de Co, Ni y Cu.

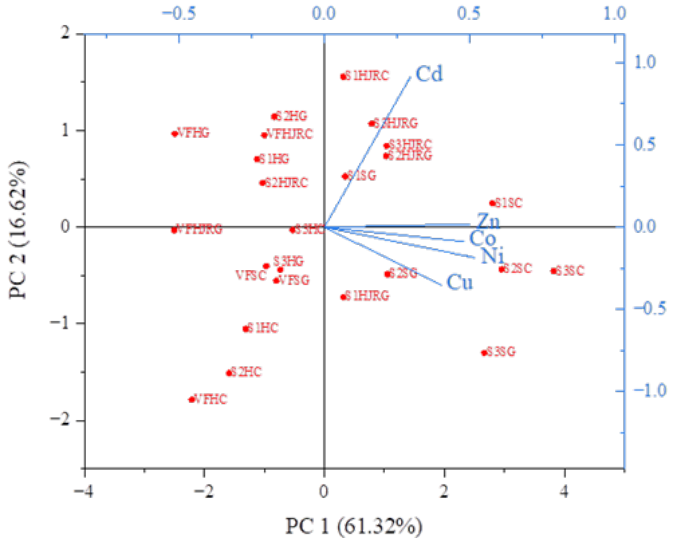

Figura 6 | Análisis de PCA de las concentraciones de metales pesados (Cu, Zn, Co, Ni, Cd) en muestras de hojas, hojarasca y suelo de las especies M. crocea y C. peltata

En el segundo eje PC 2, separa la hojarasca de las dos especies estudiadas en el lado positivo del eje con mayor concentración de Cd que el resto de los segmentos estudiados (hojas y suelo).

3.6. Discusión

Diferentes estudios describen problemas ambientales a gran escala causados por la exposición de metales pesados en distintas circunstancias, además de ser una de las causas principales del deterioro de los ecosistemas y de la salud de la población por la exposición directa y prolongada, aunque es un elemento traza, es decir que contiene concentraciones muy bajas, son muy tóxicos y provoca efectos negativos en la salud (Ambar Rosa Guzmán Morales et al., 2021). Según investigaciones científicas, en ámbitos diferentes como el biológico molecular, se ha verificado altos grados de intoxicación en individuos expuestos al aire, suelo y agua en zonas contaminadas con residuos peligrosos como el plomo, cadmio y arsénico. La exposición prolongada a pequeñas cantidades de plomo mayor a 5 μg/dL en la sangre, se asocia a enfermedades como hipertensión, daño renal, entre otros (Polo y Sulca 2019).

Las actividades antropogénicas descontroladas causan el deterioro ambiental y contribuyen al calentamiento global. Estas actividades causan una huella ecológica considerable más cuando no son legalmente establecidas. Los impactos ambientales de la minería suelen ser abrumadores en el medio ambiente, provoca la degradación de suelos contamina el agua y amenaza a la biodiversidad de la región. En Ecuador los puntos de minería ilegal son mayores a 600, siendo las provincias más afectadas Napo, Zamora Chinchipe, Imbabura, Loja, Azuay, Esmeraldas y Los Ríos (Erazo y Esteves 2023). La minería consiste en extraer minerales que necesitan de energía para realizarlo, por tanto, siempre habrá una huella, y el propósito debe ser realizarlo de una manera sostenible (Madeleine Stone 2022). Entorno a la contaminación se busca la depuración de contaminantes, en este caso la fitorremediación en donde se utilizan plantas hiperacumuladoras. Los procesos externos e internos de las plantas ante la presencia de compuestos metalúrgicos deben ser estudiados según la fisiología natural de cada especie, como la asimilación de los nutrientes, sus procesos metabólicos y la transpiración (Yordy Alejandro Bustos Contreras 2021).

De acuerdo con los resultados de este estudio, se produjo una respuesta fisiológica en las especies *M. crocea* y *C. peltata* expuestas al ambiente contaminado, donde cumplen su ciclo vital, bioacumulando elementos metálicos en sus células vegetales. La colca presenta mayor concentración de Cu y Zn en hojas como en hojarasca y suelo mientras el guarumo presentó mayor acumulación de Co en hojas y hojarasca. Fisiológicamente las plantas suelen desarrollar mecanismos compuestos para reducir los efectos adversos de los metales pesados, entre ellos la absorbancia, acumulación o mecanismos a nivel molecular (Ambar Rosa Guzmán Morales et al., 2021). Las plantas que desarrollan estas características como se mencionó son hiperacumuladoras porque en comparación con otras que pueden encontrarse en el mismo sustrato, no son capaces de realizar estos mecanismos biológicos en respuesta detienen o limitan su desarrollo .

Las especies estudiadas al ser abundantes en la región amazónica y crecer en condiciones adversas como se observó en la zona de estudio, demuestran su potencial para procesos de descontaminación biológica. En programas de fitorremediación por lo general son consideradas especies de la Familia Poaceae, que en el caso de *C. peltata,* es una especie arbórea que no exige suelos fértiles, su crecimiento a corto plazo es acelerado generando una cantidad considerable de biomasa; por estas razones, el guarumo puede ser importante como planta fitorremediadora (Vidal Durango et al., 2010). Según , las concentraciones de metales pesados en el tejido vegetal terrestre están relacionados con la cantidad, es decir cuanto más abundante sea el metal en el suelo, mayor será su presencia en el tejido vegetal. Los rangos en los límites máximos permisibles han sido comparados con normas ecuatorianas y supranacionales. Según la norma ecuatoriana, en suelos de uso agrícola los valores arrojados en Cu, Zn, Cd exceden los límites permisibles, Ni se encuentra dentro lo normado. Por otro lado, según la FAO/WHO, los elementos Cu, Ni, Cd superan los límites permisibles de metales pesados en vegetales (Paredes Damian, 2022, p 10,13). Las concentraciones de metales pesados en sus secciones hoja, hojarasca y suelo, superan los valores permisibles, por lo tanto, estas especies cumplen con los criterios propuestos.

4. Conclusiones

En las zonas mineras del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, en la comunidad San Francisco de Chucapi, se encuentran especies arbustivas con la capacidad de minimizar la contaminación por metales pesados debido a su potencial bioacumulador.

Las especies *M. crocea* y *C. peltata* presentaron un potencial bioacumulador de metales pesados en este caso específico Cu, Zn, Co, Ni y Cd en las secciones de muestras recolectadas: hojas, hojarasca y suelo.

La especie *M. crocea* indicó significativamente una mayor concentración de Cu y Zn en las hojas y también tuvo una baja bioacumulación de Co y Cd, mientras que la especie *C. peltata* indicó una mayor acumulación de Co en dos de sus tres secciones muestreadas (hoja y hojarasca).

La concentración elevada de metales pesados afecta altamente a los sistemas ecológicos, que sostienen la vida humana, por lo que las dos especies de plantas analizadas serían adecuadas para planes de manejo forestal y fitorremediación.

Contribuciones de los autores

Michelle Dayuma Sánchez López: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Jefferson Leonardo Vera Zambrano: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Carolina Bañol Pérez: Concepción del trabbajo; 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

Ang, Michelle Li Ern, Dirk Arts, Danielle Crawford, Bonifacio V. Labatos, Khanh Duc Ngo, John R. Owen, Chris Gibbins, y Alex M. Lechner. 2021. “Socio-environmental land cover time-series analysis of mining landscapes using Google Earth Engine and web-based mapping”. Remote Sensing Applications: Society and Environment 21 (enero): 100458. https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2020.100458.

Angie Leguizamo, y Sebastián Ruiz. 2022. “Minería de carbón: la nueva ‘joya’ de la economía colombiana. semillero competitividad económica ambiental-cea proyecto curricular administración ambiental Autor (es)”. Vol. 12.

Asociación de Municipalidades Ecuatorianas. 2022. Çantón Carlos Julio Arosemena Tola ". https://ame.gob.ec/2010/05/20/canton-carlos-julio-arosemena-tola/

Attiogbe, Francis K., Abdul Rahim Mohammed, y Quarm Kingslove. 2020. “Assessing the potential health impact of selected heavy metals that pollute lake amponsah in Bibiani, Western North region, Ghana”. Scientific African 9 (septiembre). https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00531.

Bustos Contreras, Yordy Alejandro. 2021. Üso de plantas hiperacumuladoras en minería: conceptos y aplicaciones". Maestría, Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79356/1017153992_2021.pdf?sequence=3.

Cahuana, Lizardo, y Osvaldo Aduvire. 2019. “Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú”. Revista de Medio Ambiente y Mineria 4 (2): 19–36. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

Cuya, Alessandra, Jenny A. Glikman, Jessica Groenendijk, David W. Macdonald, Ronald R. Swaisgood, y Adi Barocas. 2021. “Socio-environmental perceptions and barriers to conservation engagement among artisanal small-scale gold mining communities in Southeastern Peru”. Global Ecology and Conservation 31 (noviembre): e01816. https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2021.E01816.

Delgado Fernández, Ernesto, Maribel León Peralta, Carlos Cantos Guamán, y Martha Guzmán Juárez. 2023. “Effect of mining activity on biodiversity in a sector of the paquisha parish, province of zamora chinchipe-ecuador”. Granja 38 (2): 104–21. https://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.08.

Duarte-Alonso, Andrea, Trinidad Eugenia Cu-Cañetas, Azalia Avila-Nava, Delia Sansores-España, Juan José Acevedo-Fernández, Mukthar Sandoval-Peraza, Luis Chel-Guerrero, y Ivan Torre-Villalvazo. 2020. “A Cecropia peltata ethanolic extract reduces insulin resistance and hepatic steatosis in rats fed a high-fat diet”. Journal of Ethnopharmacology 261 (octubre). https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113087.

El Oriente. 2023, 1 de marzo. "7 campamentos de minería ilegal fueron destruidos en Chucapi". El Oriente. https://www.eloriente.com/articulo/7-campamentos-de-mineria-ilegal-fueron-destruidos-en-chucapi/38596

Enríquez Donaires, Amadeo, Luz Marina Acharte Lume, Daniel Lovera Dávila, Gaby Lili Cabello Santo, y Jackson Edgardo Perez Carpio. 2020. “Aprendizaje basado en el proyecto de las especies nativas para la Fitorremediación de las aguas drenadas en la mina Tangana en el distrito de Huachocolpa, Huancavelica”. Apuntes Universitarios 11 (1): 326–34. https://doi.org/10.17162/au.v11i1.575.

Erazo-Morales, Paula Lorena y Zila Isabel Esteves-Fajardo. 2023, 15 de abril. "Los problemas ambientales, la minería ilegal y la contaminación en el oriente ecuatoriano". CIENCIAMATRIA 9, n.º 1: 904–14. https://doi.org/10.35381/cm.v9i1.1107.

Gladys Dávila. 2006. .El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales."Laurus 12, no.:180-205. Redalyc, https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76109911

Goldenberg, Renato, Marcelo Reginato, y Fabián A. Michelangeli. 2018. “Disentangling the infrageneric classification of megadiverse taxa from Mata Atlantica: Phylogeny of Miconia section Chaenanthera (Melastomataceae: Miconieae)”. Taxon 67 (3): 537–51. https://doi.org/10.12705/673.15.

Guzmán Morales, Ambar Rosa, Orestes Cruz La Paz, Ramiro Valdés Carmenate y Pedro A. Valdés Hernández. 2021. .Evaluación de la contaminación por metales pesados y su acumulación en plantas de lechuga (Lactuca sativa L.)". Scielo 42, n. º4 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000400003.

Greksa A, Ljevnaić-Mašić B, Grabić J, Benka P, Radonić V, Blagojević B, Sekulić M. 2019. Potential of urban trees for mitigating heavy metal pollution in the city of Novi Sad, Serbia. Environmental Monitoring and Assessment 191. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7791-7

Huaranga Moreno, Félix R, Herbarium Truxillense, Eduardo F Méndez García, y Feliciano Bernuí Paredes. 2021. “Bioindicator species of contamination by mining tailings in the Samne Sector, La Libertad-Peru, 2021 Eric F. Rodríguez Rodríguez”. Arnaldoa 28 (3): 633–50. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28310.

Juan Diego L. 2010. Carlos Arturo R., Marda Ucaris Z., & Jennifer O. .El método analítico como método na-

tural."Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences 25, no. 1 .Redalyc, https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18112179017.

Lifeder. 2022, 7 de abril. "Método experimental". https://www.lifeder.com/metodo-cientifico-experimental/#:~:text=El%20mÃľtodo%20experimental%20consiste%20en%20la%20identificaciÃşn%20de,mÃľtodo%20permite%20a%20los%20investigadores%20manipular%20las%20variables.

Milena, Thays, Silva Lopes, Gustavo Fernandes, Queiroga Moraes, Ana Laura De Cabral Sobreira, y Julia Beatriz Pereira De Souza. 2021. “Potencial farmacológico da canela-de-velho (Miconia albicans): Uma revisão integrativa”. Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm 52 (1): 435–70. https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n1.109392.

Niane, Birane, Stéphane Guédron, Frédéric Feder, Samuel Legros, Papa Malick Ngom, y Robert Moritz. 2019. “Impact of recent artisanal small-scale gold mining in Senegal: Mercury and methylmercury contamination of terrestrial and aquatic ecosystems”. Science of the Total Environment 669 (junio): 185–93. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.108.

Paredes Damian, L. M. 2022. "Manejo e interpretación de resultados de concentración de metales en muestras de plantas y peces obtenidas de zonas bajo influencia minera de las provincias de Zamora Chinchipe y El Oro "[Tesis, Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22592/1/CD%2012280.pdf

Polo Bravo, Carlos y Liduvina Sulca Quispe. 2019, 6 de septiembre. "Metales pesados: fuentes y su toxicidad sobre la salud humana". Ciencias 2, n.º 1. 20–36. https://doi.org/10.33326/27066320.2018.1.842.

Prefectura de Napo. 2020. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Napo. Napo: Prefectura de Napo

René Gómez-García. 2019. “La riqueza natural de la Amazonía como base del desarrollo sostenible regional”. Banco del desarrollo de America Latina y el Caribe. 2019. https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2019/09/la-riqueza-natural-de-la-amazonia-como-base-del-desarrollo-sostenible-regional/.

Rocha-Román, Leobardo, Jesús Olivero-Verbel, Karina Rocío Caballero-Gallardo, Leobardo Rocha-Román, Jesús Olivero-Verbel, y Karina Rocío Caballero-Gallardo. 2018. “Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de san martín de loba, sur de bolívar (Colombia)”. Revista internacional de contaminación ambiental 34 (1): 93–102. https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.08.

Rodríquez-Serrano, M., N. Martínez De la Casa, M. C. Romero-Puertas, L. A. del Río, y L. M. Sandalio. 2008. “Cadmium toxicity in plants”. Ecosistemas 17 (3): 139–46. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815794-7.00008-4.

Siddiqui, Ekabal, y Jitendra Pandey. 2019. “Assessment of heavy metal pollution in water and surface sediment and evaluation of ecological risks associated with sediment contamination in the Ganga River: a basin-scale study”. Environmental Science and Pollution Research 26 (11): 10926–40. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04495-6.

Solis Dufflocq, L. E. 2020. Metales pesados en los cultivos. Chile: medio_ambiente.

Stone, Madeleine. 2022. "¿Pueden los avances tecnológicos conseguir una minería más limpia?"Nathional Geographic. https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2022/05/pueden-los-avances-tecnologicos-conseguir-una-mineria-mas-limpia.

Valdivia, Gabriela. 2018. “La Amazonía minada: Minería a gran escala y conflictos en el sur del Ecuador ed. by Karolien van Teijlingen et al.” Journal of Latin American Geography 17 (3): 291–94. https://doi.org/10.1353/lag.2018.0065.

Vidal Durango, J. V., Marrugo Negrete, J. L., Jaramillo Colorado, B., & Perez Castro, L. M. 2010. Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia peltata) ". Ingeniería y Desarrollo, (27), 129. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612010000100007&lang=es

Villacís S, Aguilar C, Finer M, Josse C. 2022, 3 de agosto. "Dinámica de la actividad minera en la provincia de Napo". Ecociencia, https://ecociencia.org/maap-162-dinamica-de-la-actividad-minera-en-la-provincia-de-napo-ecuador/.

Wang Zhenghai, Liu Xingyun, Qin Haoyang. 2019. Bioconcentration and translocation of heavy metals in the 430 soil-plants system in Machangqing copper mine, Yunnan Province, China. Journal 431 of Geochemical Exploration 200: 159–166. https://doi.org/ 10.1016/j.gexplo.2019.02.005

Wilson Vilela, Marbelle Espinosa, y Ana Bravo. 2020. “Vista de La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro”. Revista internacional de administración. 2020. https://doi.org/https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8.