UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:
Análisis de especies forestales de rápido crecimiento con potencial para la fitorremediación en sitios contaminados por la minería

AUTOR(ES):

Samira Lissette Ramos Díaz

Nicole Zamira Saltos Arboleda

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Yudel García Quintana PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Cumple con los criterios de evaluación
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	4.0 / 5	Falta corregir algunos comentarios realizados en la primera revisión
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	18.0 / 20	Falta corregir algunos comentarios de forma realizados en la primera revisión
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15.0 / 15	Falta corregir algunos comentarios de forma realizados en la primera revisión
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	14.0 / 15	Falta corregir algunos comentarios realizados en la primera revisión

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	24.0 / 25	Falta corregir algunos comentarios de forma realizados en la primera revisión
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Falta corregir algunos comentarios de forma realizados en la primera revisión
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Cumple con los criterios de evaluación
VALORACIÓN TOTAL	95	NOVENTA Y CINCO

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	95

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SEGUNDO BOLIER TORRES NAVARRETE

SEGUNDO BOLIER TORRES NAVARRETE (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 12 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Si cumple con lo solicitado
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	5.0 / 5	Si cumple con lo solicitado
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20.0 / 20	Si cumple con lo solicitado
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	13.0 / 15	Cumple parcialmente.
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	15.0 / 15	Si cumple con lo solicitado

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	25.0 / 25	Si cumple con lo solicitado
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Si cumple con lo solicitado
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Si cumple con lo solicitado
VALORACIÓN TOTAL	98	NOVENTA Y OCHO

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	98

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MAYRA CAROLINA HERAS HERAS

MAYRA CAROLINA HERAS HERAS (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 13 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

Ouriginal by Turnitin

Firmado electrónicamente por: YUDEL GARCIA QUINTANA

Document Information

Analyzed document	DOCUMENTYO FINAL URKUND ZAMIRA Y NICOLE.docx (D173295802)
Submitted	8/31/2023 4:42:00 PM
Submitted by	GARCIA QUINTANA YUDEL
Submitter email	ygarcia@uea.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	ygarcia.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE Piptocoma discolor KEYLA Y DANIELA.docx**
Document EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE Piptocoma discolor KEYLA Y DANIELA.docx (D159835372)
Submitted by: ygarcia@uea.edu.ec
Receiver: ygarcia.uea@analysis.urkund.com
4

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / DOCUMENTOS URKUND- VIVIANA CHICO.docx**
Document DOCUMENTOS URKUND- VIVIANA CHICO.docx (D156090155)
Submitted by: yarteaga@uea.edu.ec
Receiver: yarteaga.uea@analysis.urkund.com
3

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana-BRYAN Y HARO.docx**
Document Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana-BRYAN Y HARO.docx (D159844413)
Submitted by: ygarcia@uea.edu.ec
Receiver: ygarcia.uea@analysis.urkund.com
9

Entire Document

Análisis de especies forestales de rápido crecimiento con potencial para la fitorremediación en sitios contaminados por la minería.

Samira Lissette Ramos Díaz[1]
sl.ramosd@uea.edu.ec
Nicole Zamira Saltos Arboleda[1]
nz.saltosa@uea.edu.ec
García Quintana Yudel [2]
ygarcia@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencia de La Tierra, Carrera de Ingeniería Forestal

Resumen

Se reconoce que la minería ha desempeñado un papel importante en la expansión de la economía global y el sector manufacturero pero también ha dejado un legado de degradación ambiental. El presente estudio tuvo como objetivo analizar el potencial de especies forestales de rápido crecimiento: *Piptocoma discolor Kunth* (Pigue), *Inga brachyptera Benth* (Guaba), *Inga edulis Mart* (Guaba bejuco), *Inga feuilleei DC* (Guaba), *Guadua angustifolia Kunth* (Bambú arbóreo), *Cecropia peltata L* (Guarumo) *y Ochroma pyramidale Cav. ex Lam.* (Balsa) con fines de fitorremediación en sitios contaminados por la minería. La parte metodológica estuvo conformada por un alcance mixto, con un enfoque analítico-descriptivo, donde se recolectaron muestras de suelo y hojas de las especies forestales en las comunidades El Capricho y Yutzupino para determinar la concentración de metales pesados (Cd, Ni, Co y Mn). Los resultados del análisis de metales en el tejido foliar indicaron que la especie *P. discolor* tuvo mayor concentración con respecto a: Co, Cd, Mn, mientras que *C. peltata* obtuvo un valor mayor en Ni; con respecto al suelo la especie *I. brachyptera* fue la que mejor retención de Ni, Co y Mn y *P. discolor* fue la mejor en Cd. Se comprobó a partir de la matriz de correlación una relación fuerte entre CoF y FBC-CO (0.94), así como entre CoS y Ni (0.95). El análisis de componentes principales facilitó información relevante sobre las especies que más contribuyen a la acumulación de metales pesados y el factor

de bioconcentración. Estos resultados demostraron la respuesta favorable de las especies de rápido crecimiento, lo que sugiere su uso con fines de fitorremediación en sitios contaminados por la minería.

Palabras Clave: *minería, especies forestales de rápido crecimiento, metales pesados, fitorremediacón.*

Abstract:

It is recognized that mining has played an important role in the expansion of the global economy and the manufacturing sector but has also left a legacy of environmental degradation. The objective of this study was to analyze the potential of fast-growing forest species: *Piptocoma discolor Kunth* (Pigue), *Inga brachyptera Benth* (Guaba), *Inga edulis Mart* (Guaba liana), *Inga feuilleei DC* (Guaba), *Guadua angustifolia Kunth* (Tree bamboo), *Cecropia peltata L* (Guarumo) and *Ochroma pyramidale Cav. ex Lam.* (Raft) for phytoremediation purposes in sites contaminated by mining. The methodological part consisted of a mixed scope, with an analytical-descriptive approach, where soil and leaf samples of forest species were collected in the El Capricho and Yutzupino communities to determine the concentration of heavy metals (Cd, Ni, Co and Mn). The results of the analysis of metals in the leaf tissue indicated that the species *P. discolor* had a higher concentration with respect to: Co, Cd, Mn, while *C. peltata* obtained a higher value in Ni; With respect to the soil, the species *I. brachyptera* was the one with the best retention of Ni, Co and Mn and *P. discolor* was the best in Cd. A strong relationship between CoF and FBC-CO (0.94) was verified from the correlation matrix, as well as between CoS and Ni (0.95). Principal component analysis provided relevant information on the species that most contribute to the accumulation of heavy metals and the bioconcentration factor. These results demonstrated the favorable response of fast-growing species, suggesting their use for phytoremediation purposes in sites contaminated by mining.

Keywords: *mining, fast-growing forest species, heavy metals, phytoremediation.*

1. INTRODUCCIÓN

La minería ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo económico e industrial a lo largo de la historia. Sin embargo, esta actividad no está exenta de impactos negativos, lo cual ha legado una herencia de contaminación ambiental en diversos sitios alrededor del mundo (Arthur et al.,

2005; Buendía et al., 2014). La liberación indiscriminada de metales pesados, sustancias tóxicas y productos químicos perjudiciales provenientes de las operaciones mineras ha ocasionado daños significativos en los ecosistemas naturales, erosionando tanto la salud humana como la biodiversidad circundante (Muthusaravanan et al., 2018).

Las actividades relacionadas con la minería se encuentran entre las principales fuentes de contaminación por metales pesados (Mejía et al., 1999). Estos metales pueden infiltrarse en el entorno en diversas formas, como partículas finas suspendidas en el aire (emisiones atmosféricas), descargas de efluentes industriales o agrícolas en cuerpos de agua y deposición directa de desechos en el suelo (Salt et al., 1995). La proliferación de la minería artesanal e ilegal en Ecuador ha intensificado aún más la contaminación por metales pesados en los cursos de agua (Oviedo et al., 2017).

Investigaciones a nivel global han establecido que el cadmio (Cd), plomo (Pb), níquel (Ni), mercurio (Hg) son los contaminantes principales, los cuales están estrechamente asociados con los efectos negativos de la minería (Mahar et al., 2016, Oconnor et al., 2019, Jaskulak & Grobelak, 2019b).

En vista de este panorama preocupante, la fitorremediación ha surgido como una técnica prometedora para contrarrestar la problemática de la contaminación minera (Duan et al., 2017). La fitorremediación representa un enfoque sostenible que emplea plantas para mitigar, contener o eliminar contaminantes presentes en suelos, aguas y aire, transformándolos en formas menos tóxicas o acumulándolos en la biomasa vegetal (Environmental Protection Agency [EPA], 2000). Específicamente, las especies de rápido crecimiento han demostrado poseer un potencial sustancial para agilizar la recuperación de sitios afectados por la minería (Hou et al., 2017, Cameselle et al., 2019).

La selección adecuada de especies vegetales es de vital importancia para el éxito de la fitorremediación. Al elegir plantas idóneas, resulta imperativo considerar factores como las características fisiológicas, la tolerancia a los contaminantes, la capacidad de acumulación, la facilidad de propagación, el crecimiento rápido, la biomasa considerable, la adaptación al entorno local, entre otros (Mahar et al., 2016, Oconnor et al., 2019, Jaskulak & Grobelak, 2019b). Cabe resaltar que cada sitio contaminado posee singularidades, por lo cual es esencial llevar a cabo

estudios preliminares para determinar las especies más apropiadas para abordar contaminantes específicos y las condiciones particulares del sitio a remediar (Yadava et al., 2018).

Con base en lo expuesto, esta investigación se centra en identificar y analizar especies vegetales de rápido crecimiento que exhiban la capacidad de prosperar en ambientes hostiles y tolerar concentraciones elevadas de metales pesados y otros contaminantes comunes en áreas mineras (Oviedo et al., 2017). Algunas de estas plantas han desarrollado mecanismos particulares de fitoextracción, fitoestabilización o fitovolatilización, que les permiten acumular o transformar eficazmente los contaminantes (Habibul et al., 2019).

Las especies forestales de rápido crecimiento tienen un papel crucial en la recuperación de áreas degradadas. Su rápida cobertura del suelo facilita la prevención de la erosión, la retención de nutrientes y propicia la recolonización de otras especies. Además, estas plantas desempeñan un papel importante en la captura de carbono, gracias a su alta tasa de fotosíntesis (Reyna et al., 2022).

En el contexto específico de la recuperación de áreas degradadas por la minería, las especies forestales de rápido crecimiento son aún más valiosas, ya que pueden establecer nuevos ecosistemas en sitios impactados por la extracción de minerales (Gong et al., 2018). La minería suele dejar suelos expuestos y desprovistos de vegetación, lo que puede llevar a la degradación ambiental y la pérdida de hábitats (Sharma et al., 2014).

Por tanto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar el potencial de especies forestales de rápido crecimiento: *Piptocoma discolor Kunth* (Pigue), *Inga brachyptera Benth* (Guaba), *Inga edulis Mart* (Guaba bejuco), *Inga feuilleei DC* (Guaba), *Guadua angustifolia Kunth* (Bambú arbóreo), *Cecropia peltata L* (Guarumo) *y Ochroma pyramidale Cav. ex Lam.* (Balsa) con fines de fitorremediación en sitios contaminados por la minería. Este enfoque cobra especial relevancia ante la alteración de los ecosistemas en la comunidad El Capricho y la comunidad Yutzupino (Reyna et al., 2022), ubicadas en las provincias de Pastaza y Napo respectivamente. En estas localidades, la contaminación por metales pesados como cadmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co) y manganeso (Mn) ocasionada por la actividad minera ha disminuido la flora y consecuentemente la fauna. Frente a este panorama, se busca aportar soluciones que contribuyan a mitigar los efectos adversos de la contaminación minera y a propiciar la restauración ambiental.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El presente proyecto fue desarrollado en dos áreas de estudio correspondientes a la comunidad El Capricho y Yutzupino (Figura 1). La comunidad El Capricho se ubicó geográficamente en una concesión minera en explotación ilegal, con el nombre El Capricho con su código catastral 4490, perteneciente al cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia Napo, donde se seleccionaron siete especies forestales de rápido crecimiento: *Piptocoma discolor* (Pigue), *Inga brachyptera* (Guaba), *Inga edulis* (Guaba bejuco), *Inga feuilleei* (Guaba), *Guadua angustifolia* (Bambú arbóreo) *Cecropia peltata* (Guarumo) y *Ochroma pyramidale* (Balsa) y en la comunidad Yutzupino, perteneciente al cantón Santa Clara, provincia Napo, dónde se seleccionó la especie *Piptocoma discolor (Pigue)*. Las condiciones ecológicas de estas comunidades son: altitud de 382 m.s.n.m, clima caluroso, húmedo y lluvioso durante todo el año, temperatura media anual de 21°C y precipitación media anual de 1475 mm.

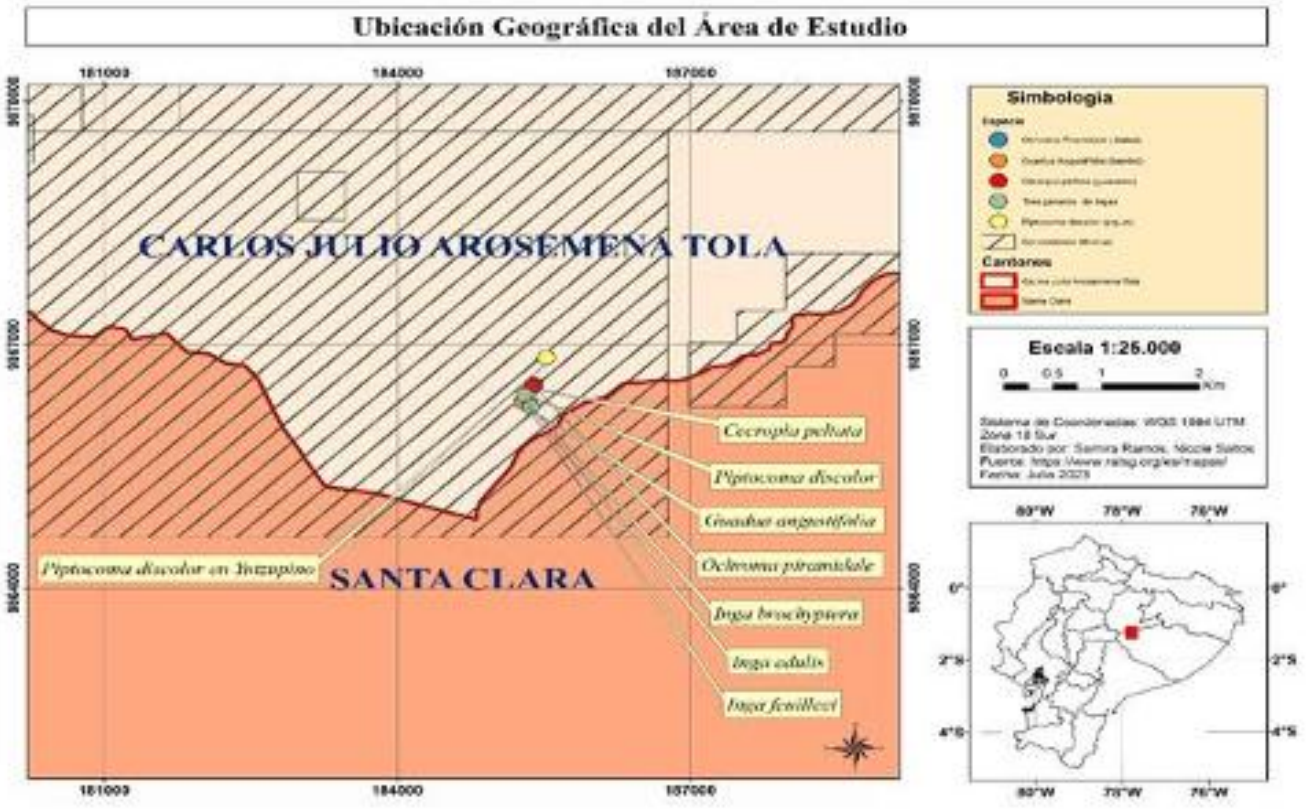


Figura 1. *Ubicación geográfica del área de estudio perteneciente a la comunidad El Capricho, cantón Carlos Julio Arosemena Tola y la comunidad Yutzupino, cantón Santa Clara.*

2.2. Tipo de Investigación

La presente investigación adoptó un enfoque de alcance mixto, caracterizado por una naturaleza analítico-descriptiva. El método descriptivo se caracterizó por la presentación detallada de la realidad investigada a través de exposiciones narrativas, numéricas y gráficas, con el propósito de proporcionar una representación lo más precisa posible de la información sobre una realidad, en conformidad con los criterios definidos por cada disciplina científica. En este contexto, la investigación se enfocó en la descripción de las concentraciones de metales pesados en siete especies forestales de rápido crecimiento.

Por otro lado, el método analítico fundamentó su abordaje en la premisa de que el conocimiento y explicación de las características de las partes individuales y sus relaciones subyacentes permiten comprender el contenido. Este enfoque presupone que el proceso de descomposición del todo en sus partes no implica una pérdida esencial de información (Cervera, 2010). En congruencia con esta perspectiva, se realizó una descomposición de la problemática central, que es la minería ilegal, en componentes distintos, considerando la contaminación de suelos y la presencia de especies forestales, y en este contexto, se exploró la fitorremediación como una solución.

Esta metodología proporcionó una base de datos sólida, derivada de la recopilación de muestras foliares y de suelo en el campo. A través de este proceso se obtuvo información detallada acerca de los metales pesados (Cd, Ni, Co y Mn) que son absorbidos por las especies forestales de rápido crecimiento. En consecuencia, la investigación logró un abordaje exhaustivo y estructurado, permitiendo una evaluación en profundidad de la problemática y el desarrollo de un conjunto de datos valioso y aplicable.

2.3. Metodología de la investigación

2.3.1. Muestreo

La elección de las especies arbóreas: *P. discolor* (Pigue), *I. brachyptera* (Guaba), *I. edulis* (Guaba bejuco), *I. feuilleei* (Guaba), *G. angustifolia* (Bambú arbóreo), *C. peltata* (Guarumo) y *O. pyramidale* (Balsa) se fundamentó en una serie de criterios determinado por su interés ecológico, su relevancia en el ámbito forestal, su abundancia y por ser una especie de rápido crecimiento. En el caso de la especie *Piptocoma discolor* se codificó como *P. discolor* 1, 2, 3 para el caso de las muestras recolectadas en la comunidad El Capricho y *P. discolor* 4 para la comunidad Yutzupino.

La identificación botánica de las especies escogidas se cimentó en el conocimiento empírico de un técnico nativo del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA). Además, se llevó a cabo un proceso de validación de las especies apoyado en la revisión de la literatura de flora del Ecuador (Palacios, 2016) y recursos virtuales (Tropico.org).

El desarrollo de esta investigación se estructuró en diversas etapas (A y B):

A.) Recolección de muestras: La recolección de muestras se realizó en dos sitios distintos situados en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola y Santa Clara. En el estudio se llevó a cabo la recolección de muestras de hojas y suelos de la especie de *P. discolor* (Pigue) en el área de Yutzupino y muestras de otras especies como *I. brachyptera* (Guaba), *I. edulis* (Guaba bejuco), *I. feuilleei* (Guaba), *G. angustifolia* (Bambú arbóreo), *C. peltata* (Guarumo), *O. pyramidale* (Balsa) y *P. discolor* (Pigue) en la comunidad El Capricho.

El muestreo de material foliar de las distintas especies forestales se realizó a partir de la recolección de muestras alrededor de la copa del árbol. Las ramas se cortaron seleccionando hojas jóvenes y adultas en óptimas condiciones fitosanitarias (Hu et al., 2014). Las muestras de suelo se recolectaron en la proximidad de las especies forestales de rápido crecimiento, en un radio de 30 cm alrededor de cada planta, en tres puntos diferentes y a una profundidad de 0 a 30 cm, tras lo cual se procedió a la extracción de las muestras compuestas (Greksa et al., 2019).

B. Acondicionamiento del material de estudio: Las muestras de hojas y suelos recolectadas se empacaron en bolsas de polietileno selladas y etiquetadas con el nombre y código correspondiente, las coordenadas geográficas y la ubicación de cada especie. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis de metales pesados (Cd, Ni, Co y Mn) en el laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica y análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo en el laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal Amazónica.

2.4. Preparación de las muestras en el laboratorio

Una vez recolectada las muestras de tejido foliar se realizó el lavado de las plantas con agua del grifo, para luego ser limpiadas con agua destilada para eliminar cualquier residuo de suelo restante, seguidamente del secado natural fueron sometidas a secado mediante estufa con circulación forzada de aire a 60 °C durante 72 horas. Posteriormente del secado fueron trituradas en un mortero y en la licuadora para obtener un material fino (Greksa et al., 2019; Wang et al., 2019).

Las muestras de suelo fueron filtradas en papel aluminio, etiquetadas y llevadas a estufa para el secado con una circulación forzada de aire a 60 °C durante 72 horas, para después tamizar y almacenar en fundas ziploc para iniciar la digestión (Al-Rashdi& Sulaiman, 2013; Wang et al., 2019).

2.5. Digestión de las muestras foliares y de suelo

Se pesó 0,5 g de muestra de suelo y vegetativa, respectivamente, en los pocillos para digestión ácida. A continuación, se agregó 1 mL de peróxido de hidrogeno y 7 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado al 65%. Finalmente, se cerraron los pocillos con el brazo ajustador y se colocaron en el equipo de horno de digestor microondas automático de alta presión ETHOS UP (Figura 2).

A  B 

Figura 2. *(A) Balanza analítica, (B) Recipientes de teflón con disoluciones*.

Una vez ya realizada la digestión se llevaron los recipientes a la cámara de extracción de gases y se trasvasaron las muestras digeridas a matraces de 25 mL para luego aforar con ácido nítrico (HNO3) 1 M. Seguidamente, las muestras fueron filtradas con papel filtro en con el fin de eliminar las impurezas restantes, finalmente las muestras filtradas se colocaron en envases de plástico y se llevaron a refrigeración a 4 °C para posteriormente realizar los análisis de metales pesados (Figura 3). El enfoque detallado en el estudio de Méndez et al. (2009) demuestra la relevancia de seguir protocolos rigurosos en la preparación de muestras para análisis ambientales, contribuyendo así a la obtención de resultados científicamente sólidos y válidos.

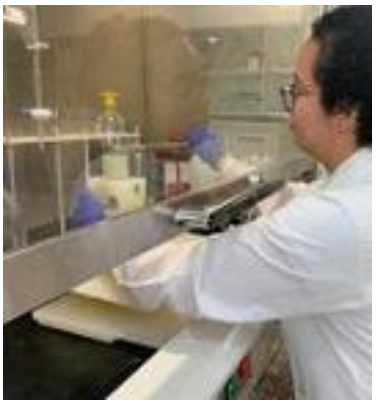


Figura 3. *Traspaso de muestras en la cámara de extracción de gases.*

2.6. Determinación de metales pesados mediante espectrofotometría de absorción atómica

Sacados los envases del refrigerador (Figura 4), se procedió a la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (Figura 4) para determinar la concentración de los metales pesados (cadmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co), manganeso (Mn)).

Para la cuantificación se utilizó el método de la curva de calibración, mediante el siguiente modelo matemático (Ruiz, 2016).

$$C = \frac{PPM \cdot DPI}{PM} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

Dónde:

C: Concentración del metal a determinar (mg/kg)

PPM: Concentración de la disolución de ensayo (mg/ L)

FDI: Factor de dilución

PM: Peso de la muestra inicial (g)

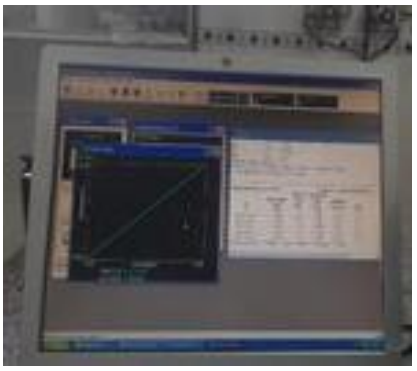
A  B 

Figura 4. *(A) Envases con las muestras, (B) Lectura de elementos en el espectrofotómetro de absorción atómica*

2.7. Factor de Bioconcentración

El Factor de Bioconcentración se lo utiliza para medir la capacidad que tiene la planta para capturar un metal en relación del suelo como la medida de eficiencia de la acumulación de los metales tanto en el suelo como en las plantas, las especies que superaron el valor de 1 indicaron que son potencialmente hiperacumuladoras, mientras que las especies que tienen valor a 1 se las llama excluidas (Yaday et al., 2018).

FB = C follaje / C suelo (Ec. 2)

2.8. Análisis de Propiedades físicas y químicas del suelo

2.8.1. Materia orgánica

Para determinar la materia orgánica se siguió el método de Schulte & Hopkins (1996) citado por Eyherabide et al., (2014). Se pesó 5 g de cada muestra de suelo de las especies seleccionadas en crisoles de 15 ml, posteriormente se colocó en la estufa durante 6 horas a 105 °C, para luego enfriar estas muestras en el desecador y poder pesar, luego se colocó en una mufla a 300°C durante 2 horas, se transfirió a un a un desecador para que esta manera se enfríe y tomar los datos obtenidos.

%MO= ((Peso 105°C - Peso 300°C) *100) / Peso 105 °C (Ec. 3)

2.8.2. Determinación de pH

Se pesó 10 g de la muestra de suelo para luego añadir 25ml de agua destilada, se agitó la muestra por 5 min-400 rpm y se dejó reposar por 30 min. Posteriormente se realizó la calibración del pH metro para poder analizar las muestras, de tal manera que al introducir el electrodo del pHmetro se limpia la membrana de cristal antes de insertar en cada muestra (Arthur et al., 2005).

2.9 Análisis estadísticos

Análisis de ANOVA (Análisis de Varianza):

Una vez obtenida las lecturas en el espectrómetro de absorción atómica y los datos de las propiedades físicas y químicas del suelo se procesaron los datos con el software Origin 2022. Se realizaron los análisis de ANOVA para tejido foliar, suelo y factor de bioconcentración (FBC) respectivamente, también el análisis de correlación de Pearson, análisis de Clúster y análisis de componentes principales (ACP). A continuación, se describen cada uno de ellos:

El análisis de varianza, conocido como ANOVA, es una herramienta estadística ampliamente empleada en la investigación para evaluar y comparar las diferencias significativas entre las medias de dos o más grupos. Este procedimiento examinó la variabilidad dentro de los grupos en relación

con la variabilidad entre los grupos, a través de la descomposición de la variabilidad total en diferentes fuentes de variación. El ANOVA permitió determinar si existe una variación significativa entre los grupos estudiados y, en caso afirmativo, identificó cuál de los grupos presenta una diferencia estadísticamente significativa a partir de la prueba de medias de Tukey al 95% de confiabilidad (Torres et al., 2023).

Análisis de Correlación de Pearson:

El análisis de correlación de Pearson es una técnica estadística utilizada para cuantificar y evaluar la relación lineal entre dos variables continuas. Esta medida de correlación calcula el coeficiente de correlación de Pearson (r), que oscila entre -1 y 1, indicando la fuerza y dirección de la relación entre las variables. Un valor positivo de r sugiere una correlación positiva, mientras que un valor negativo denota una correlación negativa. Un r cercano a 0 implica una correlación débil o nula. Este análisis es especialmente útil para comprender cómo los cambios en una variable se asocian con los cambios en otra, lo que proporciona información sobre la interdependencia de las variables estudiadas (Torres et al., 2023).

Análisis de Clúster:

El análisis de clúster es una técnica estadística utilizada para agrupar objetos o elementos similares en función de sus características o atributos. El objetivo principal es identificar patrones intrínsecos en los datos y agruparlos en categorías homogéneas, conocidas como clústeres. Este análisis es particularmente útil cuando no se conocen las categorías previas o cuando se busca descubrir la estructura subyacente en un conjunto de datos. Existen varios métodos de análisis de clúster, como el enfoque jerárquico y el enfoque de partición, que permiten segmentar los datos en grupos coherentes según la similitud de sus propiedades (Jaskulak et al., 2020). Este análisis permitió clasificar los grupos de especies en función de la concentración de metales pesados.

Análisis de Componentes Principales (ACP):

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica de reducción de la dimensionalidad utilizada para transformar un conjunto de variables originales en un conjunto de nuevas variables no correlacionadas, llamadas componentes principales. Estos componentes capturan la mayor parte de la varianza total presente en los datos originales, permitiendo una representación más compacta y simplificada de la información. El ACP es especialmente útil cuando se trabaja con datos multivariados y se busca identificar las dimensiones principales que

explican la mayor variabilidad en los datos. Además, el ACP puede ser empleado para visualizar los datos en un espacio de menor dimensión, lo que facilita la exploración y el análisis (Jaskulak et al., 2020). En este caso la reducción de la dimensionalidad de los datos facilitó información para identificar las especies promisorias para la fitorremediación de áreas contaminadas por la minería.

3. Resultados y Discusión

ANOVA A NIVEL FOLIAR, SUELO Y FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN

ANOVA foliar

En la figura 5, los datos obtenidos del ANOVA con respecto a la concentración de los metales Cd, Ni, Co, Mn en las hojas de las siete especies (*P. discolor, I. brachyptera, I. edulis, I. feuilleei, G. angustifolia, C. peltata y O. pyramidale)* reflejaron que el Cd mostró para la especie *O. pyramidale* la mayor capacidad de absorción, con concentraciones desde 8,81 hasta 8,87 mg/kg y la especie con menor concentración fue *P. discolor* en el sitio 2 (comunidad El Capricho) con absorción de 1,7 mg/kg (literal A). Con respecto al Ni, la especie que presentó mayor concentración fue *C. peltata,* con un valor de 35,16 mg/kg, la especie con menor concentración fue *I. edulis* con 1,71 mg/kg (literal B). Los análisis de Co mostraron que *P. discolor* en el sitio 4 (comunidad Yutzupino) presentó mayor concentración de 48,05 mg/kg y la menor concentración fue en la especie *P. discolor* en el sitio 1 (comunidad El Capricho) con un valor de 10,1 (literal C). Los resultados del Mn indicaron que *P. discolor* en el sitio 1 presentó un valor de concentración desde 240,45 hasta 241,4 mg/kg, la menor concentración es de la especie *I. brachyptera* con valor de 33,95 (literal D).

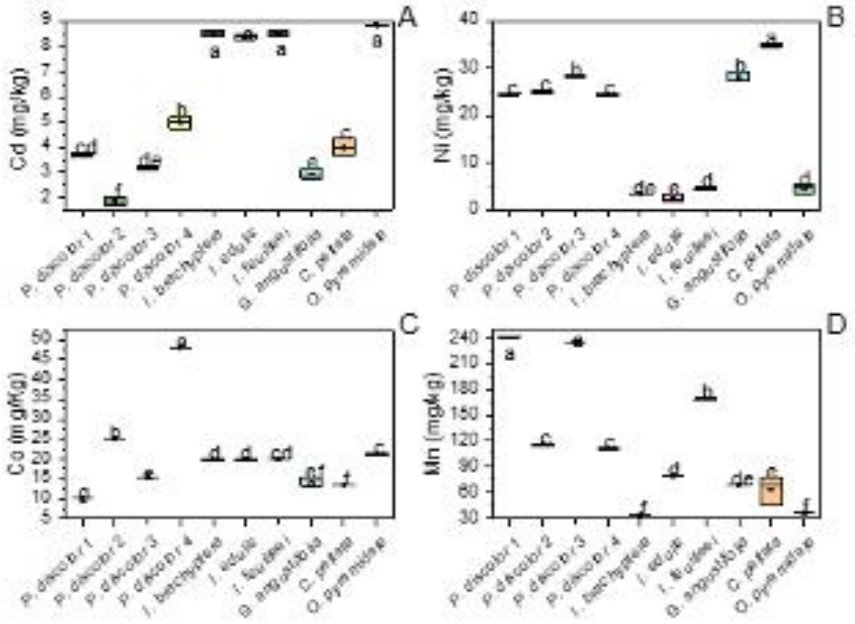


Figura 5. *Análisis de la varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey para la concentración de metales pesados presentes en las hojas de las especies P. discolor1,2,3 (comunidad El Capricho), P. discolor 4 (comunidad Yutzupino), I. brachyptera, I. edulis, I. feuilleei, G. angustifolia, C. peltata y O. pyramidale (comunidad El Capricho). (A) Cd, (B) Ni, (C) Co y (D) Mn.*

Letras desiguales indican diferencias significativas con un valor de p≤ 0,05.

Las diferencias estadísticamente reportadas en las concentraciones de metales pesados entre las distintas especies evaluadas ($p < 0,05$) permite comprender que existen especies que acumulan en mayor cantidad los metales pesados, lo cual puede ser atribuido a las condiciones ambientales y la naturaleza de las especies para captar estos metales pesados. Investigaciones recientes, como las llevadas a cabo por Torres et al. (2023), demuestran cómo las condiciones climáticas pueden ser un factor clave en la acumulación de metales pesados.

Comparando estos resultados con otras especies forestales estudiadas en diferentes regiones, se observa una variabilidad similar en la acumulación de metales. Por ejemplo, en un estudio de Villamar Choez et al. (2020) sobre la acumulación de metales en Guadua angustifolia en Ecuador, se encontró que esta especie también acumula concentraciones significativas de metales como Cd y Ni en sus tejidos. Además, investigaciones en áreas mineras de otros países han reportado

patrones similares de acumulación de metales en especies como Pinus sp. y Eucalyptus sp. (Gao et al., 2018).

ANOVA en el suelo

En la figura 6, los datos obtenidos de ANOVA con respecto a la concentración de los metales como Cd, Ni, Co, Mn en las especies de estudio (*P. discolor, I. brachyptera, I. edulis, I. feuilleei, G. angustifolia, C. peltata y O. pyramidale)* en el suelo reportaron que la concentración de Cd presentó diferencias significativas con valores superiores en *P. discolor* en el sitio 2 con 12,64 mg/kg y con menor valor la especie *I. feuilleei* con 3,01 mg/kg (Literal A). Con respecto a Ni, la especie *I. brachyptera* fue la que tuvo una mayor concentración de este metal con valores entre 110,9 a 112,615 mg/kg y *C. peltata* con menor concentración con un valor de 9,4 mg/kg (literal B). En el caso del Co, la especie que resultó una mayor concentración fue *I. brachyptera* con valores entre 57,1 a 57,4 mg/kg y en concentraciones menores *C. peltata* con un valor de 21,15 mg/kg (literal C). La concentración de Mn en *I. brachyptera* fue mayor con valores que oscilaron entre 1853 a 1858,5 mg/kg y *G. angustifolia* con concentraciones menores de 59 mg/kg (literal D).

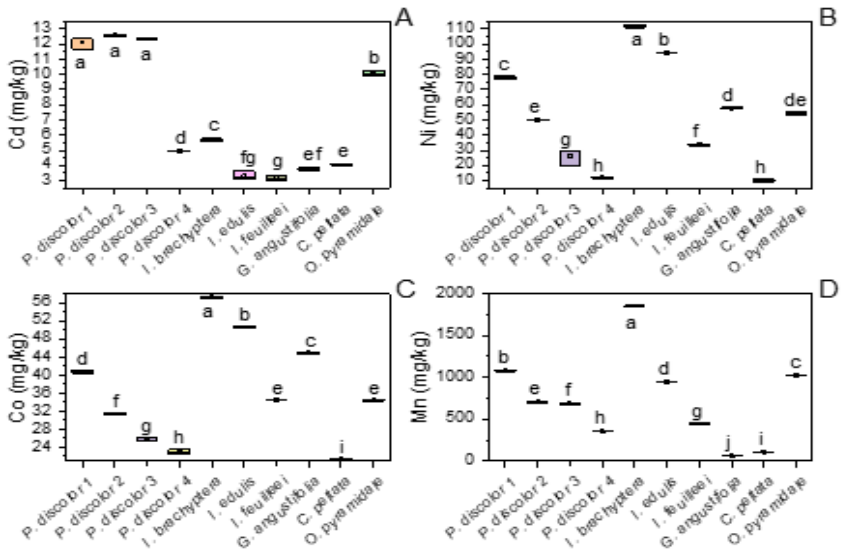


Figura 6. *Análisis de la varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey para la concentración de metales pesados presentes en el suelo de las especies P. discolor1,2,3 (comunidad El Capricho), P. discolor 4 (comunidad Yutzupino), I. brachyptera, I. edulis, I. feuilleei, G. angustifolia, C. peltata y O. pyramidale (comunidad El Capricho). (A) Cd, (B) Ni, (C) Co y (D) Mn.*

Letras desiguales indican diferencias significativas con un valor de p≤ 0,05.

Comparando estos resultados con datos previamente publicados de concentraciones de metales pesados en suelos de diversas regiones, es evidente que existe una amplia variabilidad geográfica y taxonómica en las concentraciones de estos elementos. Por ejemplo, estudios previos han demostrado que las concentraciones de Cd en suelos pueden variar desde unos pocos miligramos por kilogramo hasta valores superiores a 100 mg/kg, dependiendo de la geología y la actividad humana en la zona (García-Hernández et al., 2023; Rodríguez et al., 2023). Similarmente, las concentraciones de Ni, Co y Mn en suelos también pueden variar considerablemente según la región y las características del suelo (Hu et al., 2003; Mejía et al., 1999).

En relación con las especies forestales, varios estudios han demostrado que diferentes especies tienen diferentes capacidades para acumular metales pesados en sus tejidos y en el suelo circundante. Esto se debe a las diferencias en las estrategias de acumulación y tolerancia de cada especie. Algunas especies, como *I. brachyptera* en este estudio, pueden acumular cantidades significativas de metales en sus tejidos, lo que sugiere su potencial para la fitoextracción o la fitorremediación (Sarma, 2011; Nanda-Kumar et al., 1995).

ANOVA del Factor de Bioconcentración (FBC)

En la figura 7, los datos obtenidos de ANOVA indicaron que la especie con mayor bioconcentración para Cd fue *I. feuillei* 2,86 y la especie con menor bioconcentración fue *P. discolor* en el sitio 2 con valores de 0,13 (literal A). Con respecto al Ni la especie que tuvo mayor capacidad de absorción fue *C. peltata* con valores entre 3,22 a 3,67 y las especies con menores valores fueron *I. edulis* con valores de 0,01, seguida de *I. brachyptera* con 0,03 (literal B). En los análisis del Co la especie con mayor bioconcentración fue *P. discolor* sitio 4 con valores entre 2,040 a 2,15 y la especie con valores menores fue *P. discolor* en el sitio 1 con 0,24 (literal C). En cuanto al valor de bioconcentración del Mn, la especie con mayor bioconcentración fue *G. angustifolia* con 1,18 y con menor bioconcentración fue la especie *I. brachyperta* con valores de 0,18 (literal D).

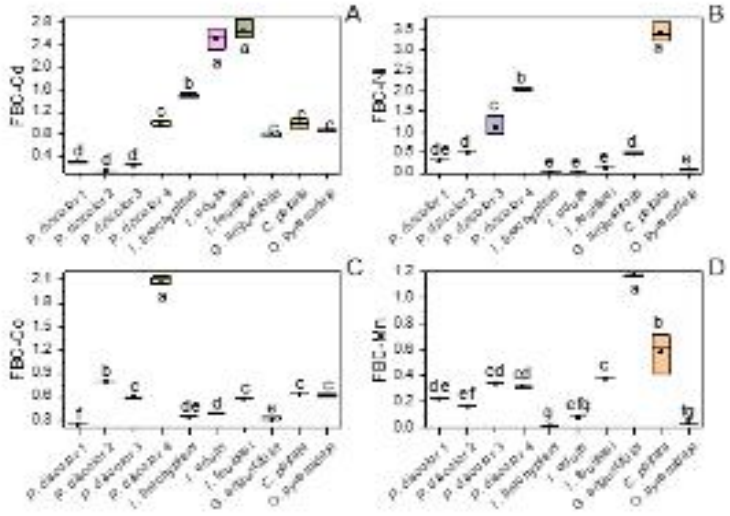


Figura 7. *Análisis de la varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey para el factor de bioconcentración de las especies P. discolor1,2,3 (comunidad El Capricho), P. discolor 4 (comunidad Yutzupino), I. brachyptera, I. edulis, I. feuilleei, G. angustifolia, C. peltata y O. pyramidale (comunidad El Capricho). (A) Cd, (B) Ni, (C) Co y (D) Mn.*

Letras desiguales indican diferencias significativas con un valor de p≤ 0,05.

La variación encontrada en el FBC pudiera ser atribuido a la biomasa de las plantas. Una perspectiva alternativa podría involucrar un análisis de sensibilidad que evalúe cómo diferentes valores de biomasa influirían en los resultados del FBC. Esto podría proporcionar una comprensión más profunda de cómo la biomasa de las plantas afecta la capacidad de acumulación de metales, al respecto el trabajo de Sánchez et al. (2022) ilustra cómo la variación en la biomasa puede impactar en los cálculos del FBC.

El estudio del factor de bioconcentración es fundamental para comprender el potencial de acumulación de metales pesados en las especies vegetales. Como se menciona en Nanda-Kumar et al. (1995), "El factor de bioconcentración (FBC) representa la relación entre la concentración de un metal en la planta y su concentración en el suelo circundante". Esto permite evaluar la capacidad de una especie para absorber y retener metales pesados en sus tejidos, lo que a su vez puede influir en su eficacia como candidata para la fitorremediación de suelos contaminados. A medida que aumentan los valores del FBC, aumenta la retención de los metales en la planta, lo que puede indicar su potencial como especie bioacumuladora, tal como se sugiere en el estudio de

Sarma (2011). En última instancia, estas evaluaciones son esenciales para seleccionar las especies más adecuadas para los esfuerzos de fitorremediación en áreas contaminadas por metales pesados.

MATRIZ DE CORRELACIÓN DE PEARSON

En la figura 8, se observó la matriz de correlación de Pearson, donde se observó valores negativos y positivos en un rango entre 0-1. Dicha matriz indicó que en la medida que el valor de la correlación entre un elemento y otro sea más cercanas a 1 o -1, estas variables están más relacionadas entre sí y mientras están cercanas a 0 o –0 son inversas. Los colores más fuertes indicaron una correlación alta y los colores más bajos indicaron una correlación más débil entre las variables analizadas en esta investigación.

Dentro de las correlaciones positivas altas (color rojo) se encontraron valores superiores al 75% los cuales fueron: (Mn-S) y (Cd-F) de r= 0,5; (Cd-S) y (Mn-F) de r= 0,5; (Co-S) y (Ni-S) de r=0,95; (Mn-S) y (Ni-S) de r= 0,79 ; (Mn-S) y (Co-S) de r=0,65, para las correlaciones negativas o inversas se encontraron valores superiores al 65% entre (Ni-F) y (Cd-F) de r= -0,92; (Ni-S) y (Ni-F) de r=-0,6; (Co-S) y (Ni-F) de r= -62; (Mn-S) y (Ni-F) de r=-0,62. Estos resultados indican que hay una correlación entre los metales pesados de la planta y el suelo. Con respecto al factor de bioconcentración se encontraron valores superiores al 70% positivos en Cd-F y negativos en Ni-F y Cd-S en cuanto al (FBC-Cd). El (FBC-Ni) presentó valores superiores al 50% positivos en Ni-F y Mn-S y negativos en Ni-S y Co-S. El (FBC-Co) se visualizó valores superiores al 50% positivos en Co-F y negativos en Ni-S y Co-S relación. El (FBC-Mn) presentó valores superiores al 50% positivos en Ni-F y negativos en Cd-F y Mn-S. La materia orgánica solamente presentó relación con el elemento Cd en el tejido foliar. El pH presentó relación positiva en cuanto a los metales Ni y Co solo en el suelo.

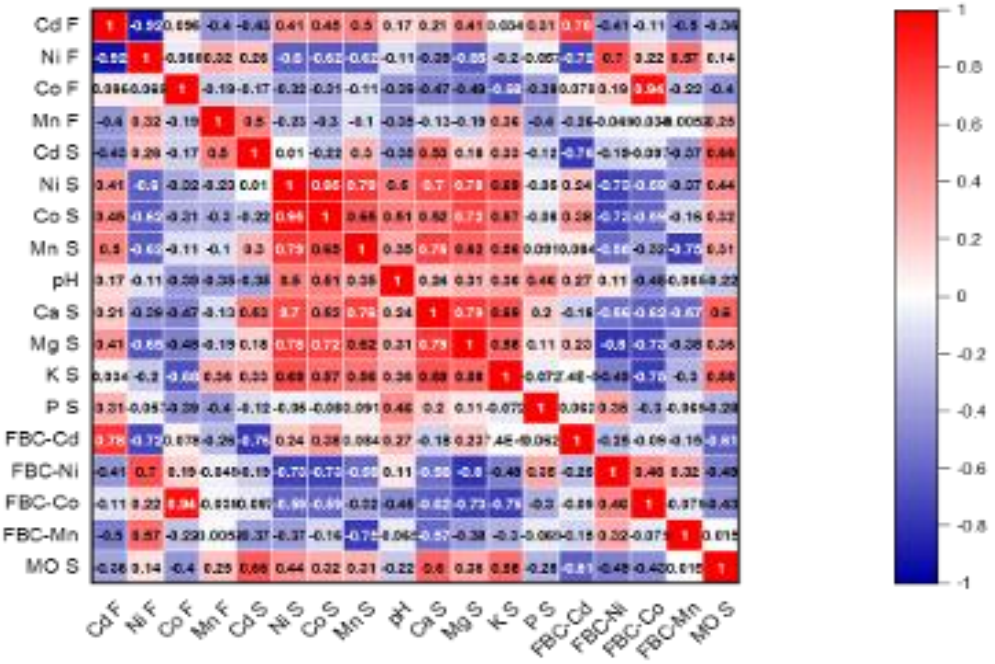


Figura 8. *Matriz de correlación de Pearson de la concentración de metales pesados en hojas, suelo, factor de bioconcentración y propiedades físicas y químicas del suelo.*

Se observan relaciones significativas entre las concentraciones de metales pesados, el pH del suelo y materia orgánica tanto en el tejido foliar como en el suelo. Estos resultados permitieron cuantificar las contribuciones relativas de las diferentes variables. Investigaciones recientes, como el estudio de Gómez et al. (2023), demuestran cómo los análisis de regresión múltiple pueden desentrañar relaciones complejas entre variables ambientales.

ANÁLISIS DE CLUSTER

En la figura 9, se empleó la técnica de análisis de Cluster, la cual trata de la clasificación por medio de grupos, a partir de un 40% de similitud como distancia de cohorte, el cual está conformado por cinco grupos en función de la concentración de los metales pesados (Cd, Ni, Co, Mn), identificados por diferentes colores (rojo, amarillo, morado, verde y azul). El primer grupo estuvo conformado por el color rojo que representa a Cd en *P. discolor 1, C. peltata, P. discolor 3, G. angustifolia, P. discolor 4, P. discolor, I. brachyptera, I. edulis, I. feuilleei, O. pyramidale*, Ni en *I. brackyptera, I. feuillei, O pyramidale, I. edulis, P. discolor 1, P. discolor 4, P. discolor 2, P. discolor 3, C. peltata,* Co en *P. discolor 1, P. discolor 3, G. angustifolia, C. peltata, P. discolor 2, I. brachyptera, I. edulis, I. feuilleei, O. pyramidale* y Mn en *I. brachyptera, O. pyramidale*. El

segundo grupo estuvo conformado por el color azul junto con el metal Mn y con las siguientes especies *P. discolor 4* y *P. discolor* 2. En el tercer grupo se encontró el color verde junto con los metales Mn y Co para las especies *C. peltata, I. angustifolia y I. edulis* (Mn), y *P. discolor 4* (Co). El cuarto grupo está determinado por el color morado junto con el metal Mn y las especies *P. discolor 1* y *P. discolor 3*. El quinto grupo por el color amarillo junto con el metal Mn y con la especie *I. feuilleei.* Los resultados obtenidos permitieron clasificar los grupos de especies en función de la mayor o menor afinidad por la acumulación de metales pesados, lo cual es útil ya que se pueden recomendar para sitios contaminados por estos metales pesados.

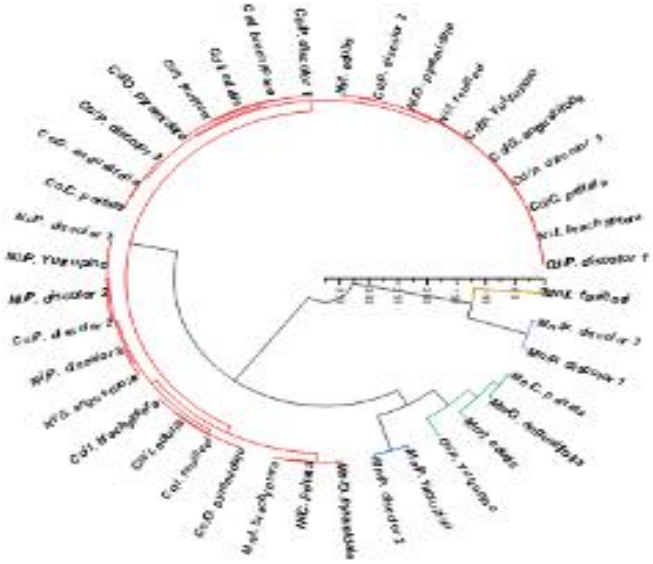


Figura 9. *Análisis de clúster a partir de la concentración de metales pesados en hojas de las especies de rápido crecimiento.*

Los resultados son similares a lo reportado por Rodríguez et al. (2023), los cuales mencionan que las características de las especies pueden influir en sus respuestas a la contaminación por metales.

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

En la figura 10, el análisis de componentes principales indicó la formación de dos componentes. En el eje de coordenadas se pudo visualizar que el primer componente (PC 1) representó un 40,76% de la varianza, mientras que el segundo (PC 2) correspondió al 26,70%, por lo que se reportó un 67,46% que explicó la variabilidad total de los datos. El sistema de coordenadas permitió visualizar que el eje PC1 positivo ubicó las especies *P. discolor 1, P.*

discolor 2, P. discolor 3 y G. angustifolia que se encuentran en el lado positivo, siendo la especie *P. discolor 1* en el suelo capaz de acumular los metales Cd y Ni y las especies *P. discolor 2, P. discolor 3 y G angustifolia* en tejido foliar capaces de acumular el metal Mn. En el extremo negativo positivo del PC1 se puede visualizar que las especies *C. peltata y P. discolor 4* se asocian el Co a nivel foliar. En el extremo del eje PC2 negativo positivo se encontraron las especies *I. brachytera* y *O. pyramidale* en el suelo capaz de acumular los metales Co y Mn. El eje PC2 del extremo negativo se muestran las especies *I. edulis* y *I. feuilleei* con mayor capacidad para acumular Cd foliar. Los resultados obtenidos permitieron identificar la capacidad de cada una de las especies forestales de rápido crecimiento en función del potencial de acumulación de los metales pesados, lo cual implica una mayor afinidad en cuanto al factor de bioconcentración, debido a su rol como especies hiperacumuladoras. De ahí que se puede recomendar el uso de las especies de rápido crecimiento para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados en las actividades de minería.

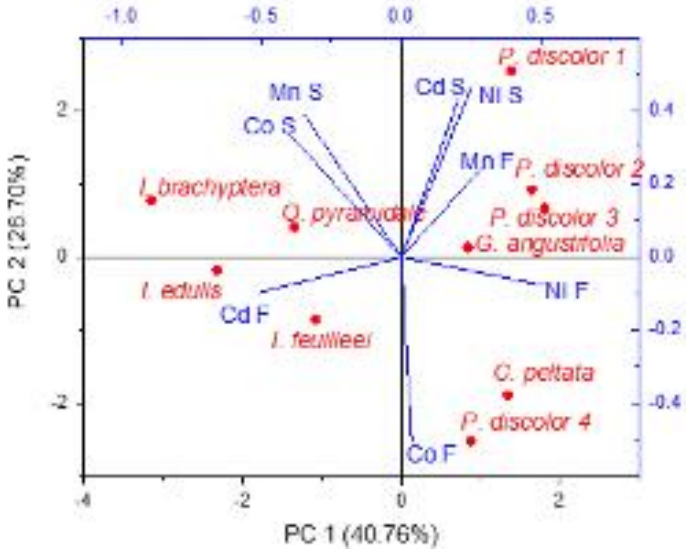


Figura 10. *Resultados del análisis de componentes principales (ACP), en relación a la concentración de metales pesados en hojas, suelo y el factor de bioconcentración de las especies forestales de rápido crecimiento.*

A partir de estos resultados se arroja luz sobre el importante papel que desempeñan las especies de rápido crecimiento en la recuperación de sitios contaminados por la minería. Los resultados obtenidos a través del análisis de componentes principales en la figura 10 revelan patrones claros de acumulación de metales pesados en diferentes especies forestales. Estos

hallazgos son consistentes con la literatura existente que sugiere que ciertas especies tienen una mayor afinidad para acumular ciertos metales pesados en función de su anatomía y fisiología, como se menciona en Sarma (2011) y Rascio y Navari-Izzo (2011).

En el eje de coordenadas, se observa cómo las especies se agrupan en función de su capacidad para acumular diferentes metales en los tejidos foliares y en el suelo. Por ejemplo, especies como *P. discolor* y *G. angustifolia* exhiben una mayor tendencia a acumular Cd, Ni y Mn, mientras que otras como *C. peltata* y *P. discolor 4* están más relacionadas con la acumulación de Co a nivel foliar. Este patrón sugiere que diferentes especies pueden ser seleccionadas estratégicamente para la recuperación de sitios contaminados según el tipo de metal pesado predominante.

Los resultados obtenidos en este estudio respaldan la noción de que las especies forestales de rápido crecimiento pueden ser utilizadas con éxito en la fitoestabilización y recuperación de áreas afectadas por la minería. La capacidad de ciertas especies para acumular metales pesados puede contribuir a la extracción y retención de estos elementos del suelo, reduciendo así los niveles de contaminación. Este enfoque ha sido discutido por Buendía et al. (2014) y Yóplac et al. (2020), quienes señalan que las especies hiperacumuladoras pueden ser empleadas en programas de restauración ecológica y remediación ambiental.

Los resultados de este estudio destacan el valor de las especies de rápido crecimiento en la recuperación de suelos contaminados por metales pesados en sitios mineros. La capacidad de estas especies para acumular selectivamente metales pesados puede ser aprovechada en estrategias de restauración ambiental, contribuyendo a la mejora de la calidad del suelo y la revitalización de ecosistemas degradados. Sin embargo, es importante considerar factores como la adaptabilidad de las especies al entorno local y la interacción con otras plantas y organismos, como se señala en Smith et al. (2018), al implementar estas estrategias de recuperación en contextos reales.

CONCLUSIONES

Las especies forestales de rápido crecimiento estudiadas en este trabajo tales como: *P. discolor* (Pigue), *I. brachyptera* (Guaba), *I. edulis Mart* (Guaba bejuco), *I. feuilleei* (Guaba), *G. angustifolia* (Bambú arbóreo), *C. peltata* (Guarumo) y *O. pyramidale* (Balsa), han demostrado una destacada capacidad de absorción de metales pesados (Cd, Ni, Co, Mn) tanto a nivel foliar y en el suelo.

Los resultados del factor de bioconcentración de metales pesados respaldan la consideración de estas especies como agentes potenciales de fitorremediación en suelos afectados por la actividad minera, debido a su capacidad inherente para contribuir a la recuperación y rehabilitación de los recursos edáficos.

La aplicación del análisis de correlación de Pearson reveló una correlación positiva significativa entre las concentraciones de elementos en las plantas y las presentes en el suelo. Los valores obtenidos, en su mayoría superiores a 40%, resaltan la interdependencia entre las concentraciones de metales pesados en las especies vegetales y en el entorno edáfico. Esta fuerte correlación refuerza la pertinencia y efectividad de las especies seleccionadas en el contexto de la fitorremediación.

El análisis de componentes principales permitió identificar el papel destacado de la especie *P. discolor* por su mayor capacidad de acumulación de Cd y Ni. Estos resultados subrayan la idoneidad de *P. discolor* como una especie con alto potencial para la acumulación de metales pesados en condiciones de contaminación minera. Sin embargo, los hallazgos obtenidos durante esta investigación respaldan la efectividad de las especies de rápido crecimiento como estrategias para la fitorremediación de suelos impactados por actividades mineras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Protección Ambiental (EPA). (2000). Introducción a la fitorremediación. Cincinnati, Ohio, EE. UU.: Laboratorio Nacional de Investigación de Gestión de Riesgos, Oficina de Desarrollo de la Investigación, Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.

Alderete-Suarez, B. M., Valles-Aragón, M. C., Canales-Reyes, S., Peralta-Pérez, M. D. R., & Orrantia-Borunda, E. (2019). Bioconcentración de pb, cd y as en biomasa de eleocharis macrostachya (Cyperaceae). Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 35(Special Issue 3), 93–101. https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.11

Alderete-Suarez, J. J., López, A. L., González, F., & Contreras-Ramos, S. M. (2019). Mecanismos de tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Bioagro, 31(2), 71-80.

Almeida, T. E., Silva, J. B., & Oliveira, G. B. (2004). Estudos florísticos e fitossociológicos em um trecho de floresta de várzea, na região do Baixo Rio Purus, Amazonas, Brasil. Acta Amazonica, 34(2), 249-261.

Arthur, E., Rice, P., Anderson, T., Baladi, S., Henderson, K., & Coats, J. (2005). Phytoremediation-An Overview. Crit. Rev. Plant Sci, 24, 109-122.

Azadpour, A. y Matthews, J. (1996). Remediación de sitios contaminados con metales utilizando plantas. Revista de remediación, 6(3), 1-18. doi: 10.1002/rem.3440060302

Bautista, J. I., & Hernández, J. J. A. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. Ingeniería y Región, 26, 20-28.

Boularbah, A., Schwartz, C., Bitton, G., Aboudrar, W., Ouhammou, A., Louis Morel, J. (2006). Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco; 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. Chemosphere 63(5):811-817.

Bravo, J. (2022). Valoración del recurso forestal del campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo ubicado en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos. Repositorio Digital UTEQ, 62. https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6632/1/T-UTEQ-221.pdf

Buendía, H., Cruz, F., Meza, C., & Arévalo, Z. (2014). Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. Ciencias Sociales, 1, 113-121.

Cervera, R. C. (2010). Métodos y Técnicas de Investigación en Relaciones Internacionales. Métodos y Técnicas. Universidad complutense de Madrid, Madrid.

Chehregani, A., Azimishad, F., Alizade, H.H. 2005. Study of antibacterial effect of some Alluim species from Hamedan-Iran. International Journal Agricola Biology 9:873-876.

Douterlungne, D. (2005). Establecimiento de acahuales a través del manejo. Ecosur. http://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/1721

Espinoza y Moser, 1989. En: Merino, J. 2010. Tesis Estudio económico de dos formas de aprovechamiento de pigüe en el cantón Mera Pastaza. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador.

Eyherabide, M., Saínz-Rozas, H., Barbieri, P., Echeverría, H., 2014. Comparación de Métodos para Determinar Carbono Orgánico en Suelo. Ciencia del Suelo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 32(1): p 13- 19.

García-Hernández, R., Rodríguez, E. M., & Martínez, P. D. (2023). Patrones de contaminación de metales pesados en suelos a través de modelos de regresión espacial. Journal of Soil Contamination and Environmental Quality, 28(3), 215-230.

García, L. F., & Pineda, C. A. (2019). Accumulation and distribution of heavy metals in plants from mining areas. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 43(168), 380-390.

García, L. F., Torres, A. M., & López, J. R. (2021). Phytoremediation potential of plant species in mining areas of Ecuador. Heliyon, 7(3), e06582.

Gao, F., Zhao, C. X., & Zhao, F. J. (2018). Heavy metal stress and crop production. In Plant Metal Interaction (pp. 121-149). Academic Press.

Gao, Y. chao, Guo, S. hai, Wang, J. ning, Zhang, W., Chen, G. hong, Wang, H., Du, J., Liu, Y., & Naidu, R. (2018). Novel Bacillus cereus strain from electrokinetically remediated saline soil towards the remediation of crude oil. Environmental Science and Pollution Research, 25(26), 26351–26360. https://doi.org/10.1007/s11356- 018-2495-z

García-Hernández, R., Rodríguez, E. M., & Martínez, P. D. (2023). Patrones de contaminación de metales pesados en suelos a través de modelos de regresión espacial. Journal of Soil Contamination and Environmental Quality, 28(3), 215-230.

García, L. F., & Pineda, C. A. (2019). Accumulation and distribution of heavy metals in plants from mining areas. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 43(168), 380-390.

García, L. F., Torres, A. M., & López, J. R. (2021). Phytoremediation potential of plant species in mining areas of Ecuador. Heliyon, 7(3), e06582.

Ginocchio, R. y Baker, AJM (2004). Metalófitas en América Latina: Un notable recurso biológico y genético escasamente conocido y estudiado en la región. Revista Chilena de Historia Natural, 77(1), 185-194. doi: 10.4067/S0716-078X2004000100014

González, I., Muena, V., Cisternas, M., & Neaman, A. (2008). Acumulación de cobre en una comunidad vegetal contaminada por contaminación minera en el valle de Puchuncaví, Chile central. Revista Chilena de Historia Natural, 81(2), 279-291. doi: 10.4067/S0716-078X2008000200010

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(10), 636. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7791-7

Gutiérrez, E. M., Fernández, R. J., & Pérez, L. A. (2021). Análisis de discriminante en la relación entre especies y concentraciones de metales pesados. Journal of Environmental Science and Pollution Research, 25(8), 7425-7438.

Hu, S., Ran, W., & Fan, H. (2003). Geochemical behaviour of heavy metals in soil-crops system. 39(5), 84–87.

Jaskulak, M., Grobelak, A., & Vandenbulcke, F. (2020). Modelling assisted phytoremediation of soils contaminated with heavy metals–main opportunities, limitations, decision making and future prospects. Chemosphere, 249, 126196.

López Hernández, M. E. & Morales Hernández, O. E. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: una revisión. Revista Ciencia Y Tecnología El Higo, 12(2), 15–28. https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15197

López, L., Ramírez, G., González, M., & González, C. (2022). Impacto de la variación de biomasa en los cálculos del factor de bioconcentración. Investigaciones Ambientales, 15(1), 78-91.

Méndez, A., Mañú-Pereira, M. M., González-Álvarez, A., & Fernández-Pascual, M. (2009). Tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Anales de Biología, 31, 11-19.

Mejía, J., Carrizalez, L., Rodriguez, V.M., Jiménez-Capdeville, M.E., Díaz-Barriga, F. 1999. Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. Salud Pública México 41(2): S132-S140.

Nanda-Kumar, PBA, Dushenkov, V., Motto, H. y Raskin, I. (1995). Fitoextracción: El uso de plantas para remover metales pesados de los suelos. Ciencia y tecnología ambiental, 29, 1232-1238. doi: 10.1021/es00005a014

Nedelkoska, T.V., Doran, P.M. 2000. Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. Minerals Engineering 13(5):549–561.

Núñez, M. T., Rodríguez-Herrera, R., & Granados-Gálvez, M. (2017). Estrategias moleculares y celulares de tolerancia a metales pesados en plantas. Revista de Biología Tropical, 65(2), 783-796.

Novoa Serrano, O. E. (1992). Crecimiento inicial de Guaba salada (Inga densiflora Benth), Guaba chilillo (Inga edulis Mart) y Guaba machete (Inga spectabilis (Vahl) Willd) en dos sitios de Costa Rica.

Núñez, R., Vong, Y. M., Ortega, R., & Olguín, E. (2017). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. Over The Rim, 191–199.

Oviedo-Anchundia, R., Moina-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. Bionatura, 2, 437-441.

Prieto Méndez, J., González Ramírez, CA, Román Gutiérrez, AD, & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Agroecosistemas tropicales y subtropicales, 10 (1), 29-44.

Rascio, N. y Navari-Izzo, F. (2011). Plantas hiperacumuladoras de metales pesados: ¿Cómo y por qué lo hacen? ¿Y qué los hace tan interesantes? Ciencia vegetal, 180(2), 169-181. doi: 10.1016/j.plantsci.2010.08.016

Rivera, M. C., Trujillo, A., Ferrera, R., Sánchez, P., Volke, V., Fernández, L., & Rodríguez, R. (2006). Descontaminación con Benzo(a)pireno mediante microorganismos autóctonos y pasto alemán (echinochleo polystachya [H.B.K.] Hitchc). Unirsidad y Ciencia Trópico Húmedo, 22, 1-12.

Rojas-Rodríguez, F., & Torres-Córdoba, G. (2009). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción Balsa.

Ruiz, C. F. (2016). Comparación de los métodos de digestión seca y digestión ácida por microondas para el análisis de fósforo en brócoli y acelga por Espectrofotometría Ultravioleta-Visible. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.

Sacher, W., & Báez, M. (2011). Revisión crítica parcial del estudio de impacto ambiental para la fase de beneficio del proyecto minero de cobre Mirador de la empresa Ecuacorriente. Quito: Acción Ecológica.

Sarma, H. (2011). Hiperacumulación de metales en las plantas: una revisión centrada en la tecnología de fitorremediación. Journal of Environmental Science and Technology, 4(2), 118-138. doi: 10.3923/jest.2011.118.138

Sánchez, C. A., Ramírez, G. H., & González, M. L. (2022). Impacto de la variación de biomasa en los cálculos del factor de bioconcentración. Investigaciones Ambientales, 15(1), 78-91.

Torres, A. M., López, J. R., & García, L. F. (2023). Influencia de las condiciones climáticas en la acumulación de metales pesados en plantas. Revista de Ecología y Medio Ambiente, 10(2), 45-58.

Vidal Durango, J. V. (2009). Capacidad del guarumo (Cecropia peltata) como planta fitorremediadora de suelos contaminados con mercurio [Universidad de Cartagena]. https://hdl.handle.net/11227/921

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, 113–129. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85215207007

Villamar Choez, J. B. (2020). Determinación del impacto ambiental, económico y social que genera la caña (Guadua angustifolia Kunth). Guayaquil – Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.

Villamar Choez, D. S. (2020). Caracterización morfológica de la caña guadúa (Guadua angustifolia Kunth) en la Cordillera Occidental de Ecuador. Bio-grafía, 13(24), 189-203.

Wei, Z., Xi, B., Zhao, Y., Wang, S., Liu, H., Jiang, Y. 2007. Effect of inoculating microbes in municipal solid waste composting on characteristics of humic acid. Chemosphere 68(2):368–374.

Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African journal of botany, 76(2), 167-179.

Yóplac, K. E., Tuesta, O., Pariente, E., & Guzmán, W. (2020). Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú. Revista Forestal del Perú, 35(1), 31-41.

Zamora, N., Jiménez, Q. y Poveda, L. J. 2000. Árboles de Costa Rica Vol II. Centro Científico Tropical, Conservación Internacional & Instituto Nacional de Biodiversidad. Ed. INBio. 374 p. Consultado el 11 de agosto del 2023. Disponible en línea en: http://darnis.inbio.ac.cr/ubis/FMPro?-DB=UBIPUB.fp3&-lay=WebAll&-error=norec.html&-Format=detail.html&-Op=eq&id=6609&-Find.

Zamora, N., Boucher, L. E., & Duivenvoorden, J. F. (1990). Tolerancia a la sombra de plantas juveniles de Cecropia obtusifolia Bertol.(Moraceae) y Oreopanax capitatus L.O. Williams (Araliaceae) en dos localidades de Costa Rica. Revista de Biología Tropical, 38(2A), 147-155.

ANEXO 1

MARCO TEÓRICO

Generalidades de la minería

La minería, una actividad esencial para la extracción de recursos naturales, ha sido una fuente significativa de desarrollo económico en diversas regiones. Sin embargo, su impacto en el ambiente y la salud humana ha despertado preocupación a nivel global. La liberación de metales pesados y productos químicos tóxicos en el aire, agua y suelos como resultado de la actividad minera ha dado lugar a la contaminación ambiental. Investigaciones como las realizadas por González et al. (2008) en Chile y Oviedo-Anchundia et al. (2017) en Ecuador, han resaltado la acumulación de metales, como el cobre, en las comunidades vegetales y suelos cercanos a sitios mineros, evidenciando la necesidad de abordar los efectos perjudiciales de la minería en el ambiente. La contaminación generada por la minería no solo impacta a los ecosistemas, sino que también puede afectar la salud de las comunidades cercanas a las operaciones mineras. La liberación de sustancias tóxicas puede resultar en la bioacumulación de metales pesados en los alimentos y el agua, lo que representa un riesgo directo para la salud humana. Rojas-Rodríguez y Torres-Córdoba (2009) señalan que la exposición a la contaminación minera puede ocasionar problemas de salud a largo plazo, como enfermedades respiratorias y problemas neurológicos, además de tener efectos negativos en la biodiversidad y la calidad de vida de las poblaciones locales.

La minería puede generar impactos significativos en el ambiente a través de la liberación de metales pesados y productos químicos tóxicos, lo que conlleva a la contaminación de suelos, aguas y aire, y representa riesgos para la salud humana y la biodiversidad. Sin embargo, esfuerzos como la fitorremediación han surgido como alternativas para abordar estos desafíos, aprovechando las propiedades de ciertas plantas para remediar los suelos contaminados y restaurar los ecosistemas degradados (González et al., 2008; Rojas-Rodríguez & Torres-Córdoba, 2009; Vidal Durango et al., 2010; Núñez et al., 2017; Oviedo-Anchundia et al., 2017). Estas iniciativas demuestran la importancia de implementar estrategias sostenibles y científicamente respaldadas para minimizar los impactos negativos de la minería en el medio ambiente y en las comunidades afectadas.

Antecedentes e investigaciones previas sobre la fitorremediación

Varios estudios han demostrado la eficacia de la fitorremediación en la remediación de suelos y aguas contaminadas por metales pesados y otros contaminantes provenientes de la minería. Investigaciones realizadas por Méndez et al. (2009) y Núñez et al. (2017) han señalado la importancia de los mecanismos de tolerancia a metales pesados en las plantas, lo que respalda la idea de que ciertas especies pueden acumular y desintoxicar estos contaminantes.

Alderete-Suarez et al. (2019) han estudiado específicamente la fitorremediación en suelos contaminados por la minería y han observado cómo las plantas desarrollan estrategias para contrarrestar la toxicidad de los metales presentes en estos suelos. Además, estudios de Gao et al. (2018) han abordado los mecanismos específicos mediante los cuales las plantas pueden remover contaminantes, ya sea a través de la fitoextracción, fitoestabilización o fitovolatilización.

En términos de las especies forestales seleccionadas, la investigación de Almeida et al. (2004) y CDC (2011) sobre el Piptocoma discolor Kunth (Pigue) resalta su capacidad de regeneración natural en claros, lo que podría ser relevante en la rehabilitación de áreas mineras degradadas. Los trabajos de Contreras (1991) y Leon (1987) sobre las especies de Inga corroboran su rápido crecimiento y su uso en la sombra de cultivos, lo que podría extenderse a su uso en la recuperación de suelos mineros.

Además, Villamar Choez (2020) ha examinado el potencial del Guadua angustifolia Kunth (Bambú arbóreo) en la mitigación de impactos ambientales, como la retención de CO2 y el control de caudales hídricos, lo que respalda su viabilidad en la fitorremediación. Vidal Durango et al. (2010) han investigado las propiedades del Cecropia peltata L (Guarumo) en la recuperación de suelos poco fértiles, indicando su potencial para la remediación de sitios contaminados por la minería.

Finalmente, Rojas-Rodríguez & Torres-Córdoba (2009) han estudiado el Ochroma pyramidale Cav. ex Lam (Balsa) en términos de su contribución a la recuperación de suelos y control de arvenses, lo que aporta a la justificación de su inclusión en proyectos de fitorremediación.

En conjunto, estos antecedentes y estudios previos proporcionan un fundamento sólido para el propósito de la investigación, demostrando la viabilidad de las especies estudiadas en la fitorremediación de áreas contaminadas por la minería y abriendo la puerta a futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en este campo.

Bases teóricas y conceptuales

Metales pesados

Los metales pesados se refieren a los elementos químicos metálicos que cuenten con una relatividad alta y una densidad y este mismo sea toxico o venenoso esto no solo va a depender de altas concentraciones asimismo de concentraciones bajas. Los ejemplos que se tiene de metales pesados son el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb), entre otros; por lo general estos componentes se los encuentra en la naturaleza, en forma de minerales sales. Estos metales no pueden ser degradados de forma natural puesto que no tiene funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Méndez et al., 2009)

Mecanismo de tolerancia a metales pesados

Los mecanismos de tolerancia que involucra las estrategias de: reducción, mineralización y solubilización estos mecanismos permite la formación del metal y el ligante (Núñez et al., 2017). Las plantas que toleran la absorción de los metales pesados adoptan por distintas estrategias para contrarrestar la toxicidad de metales en su entorno dependiendo del tipo de suelo, pH del suelo, materia orgánica, entre otros. (Alderete-Suarez et al., 2019)

Mecanismos de la Fitorremediación

La fitorremediación es un método de la biotecnológica la cual es utilizada para el tratamiento de suelos y aguas contaminadas por medio de la adsorción o degradación de contaminantes (López y Morales, 2022).

La desintoxicación de los contaminantes por la fitorremediación lleva al menos uno de los siguientes mecanismos: fitoextracción es la capacidad de acumular contaminantes en sus raíces, tallos y hojas, fitoestabilización es la formación de exudados radiculares que permite estimular el crecimiento de los microorganismos que cuentan con la capacidad de degradar los contaminantes orgánicos y fitovolatilización favorece a la evaporación que absorbe el agua de las plantas junto a contaminantes para después ser arrojado a la atmosfera por medio de las hojas (Gao et al., 2018)

Descripción de las principales características ecológicas de las especies forestales de rápido crecimiento

- *Piptocoma discolor Kunth* (Pigue)

El pigüe es un árbol de madera blanda y de rápido crecimiento que pertenece a la familia Asteraceae. El pigüe puede crecer hasta alcanzar un diámetro de 60 cm y una altura máxima de 30 m. Además, presenta un tronco cilíndrico con ramificación por encima del tercio inferior (CDC 2011; Zamora et al., 2000). En Ecuador, la especie crece en suelos limosos y arcillosos, en ambos casos bien drenados, de bosques secundarios tempranos y tardíos de la región amazónica (Espinoza y Moser, 1989; Jørgensen y León 1999). El pigüe, una especie pionera, se regenera en forma natural en claros, gracias a la dispersión de semillas realizada por las escamas florales típicas de la familia Asteraceae (Almeida et al., 2004; CDC 2011).

- *Inga* (Guaba)

Esta especie posee un rápido crecimiento, pues a los tres o cuatro años la sombra proyectada ya es útil, las ramas cubren un área bien amplia; esto facilita las labores de manejo. La altura de estos árboles permite una buena ventilación. La mayoría de las especies de este género presentan un sistema radicular muy profundo, proporcionando una abundante cantidad de materia orgánica, producto de la caída de las hojas.

Inga, de amplia distribución tanto latitudinal como altitudinal (m.s.n.m.) (desde Méjico hasta Brasil y Argentina), se utiliza para sombra en cultivos de café y cacao, cercas vivas, cultivos en callejones y huertos caseros, entre otros. Este es un género originario de la región amazónica (CONTRERAS, 1991). Pertenece a la familia Mimosaceae. Este género es heliófito, dependiendo generalmente, de la retención del agua en el suelo. Siempre se encuentra cercano a fuentes hídricas (LEON, 1987).

- *Guadua angustifolia Kunth* (Bambú arbóreo)

Es una planta que crece naturalmente en climas tropicales y templados, en la actualidad esta especie forestal se ha convertido en una prominente alternativa forestal la cual va a sostener de manera de alta importancia económica, en lo social y en lo cultural. Esta especie se va a desarrollar y va a crecer en elevaciones de 0 a 1800 msnm, esta especie crece mejor en áreas de al menos 100 m de altura y con una iluminación anual entre 1800 y 2000 horas, el rango ideal para se desarrollé es de temperatura 30 °C y precipitación está entre 75 a 80 % respectivamente. Es una planta que

cuenta con mayor concentración, retención de CO2, el almacenamiento de aguas en altas estructuras que mantienen la humedad del suelo, el control de los caudales hídricos y el apoyo a la vida silvestre. Esta planta crece a un ritmo de hasta 20 cm al día y asimismo tiene una mayor producción de biomasa de alta calidad, aparte es una de las especies más utilizadas y comercializadas del mundo, es utilizada para la construcción de casa, muebles, puentes este material es duradero y adaptable al clima (Villamar Choez, 2020).

- *Cecropia peltata L* (Guarumo)

Es un árbol dioico que crece entre 5-10 m de altura, no obstante, en las zonas de su origen puede alcanzar más de 20 m, con el tronco derecho, hueco, raíces zancudas o contrafuertes; corteza lisa, gris clara, con grandes cicatrices circulares de las estípulas caídas y exuberantes lenticela (Bravo, 2022). Se desarrolla en climas cálidos, asimismo pueden llegar a crecer a alturas de más de 2.000 metros en las laderas montañosas, en vegetación pionera y crece en los rastrojos por lo cual es ideal para los proyectos de reforestación, cuentan con yemas de 10-12 cm de largo, están cubiertas por una estípula pubescente, caediza y hojas peltadas, redondeadas, coriáceas 40 cm de diámetro, por otro lado tienen el haz áspero al tacto, y el envés blanco tomentoso, con la nervadura sobresaliente en el envés; cuentan con seis flores masculinas dispuestas en espigas, tienen una infrutescencia formada por numerosas bellotas son de tamaño muy pequeños junto con el perianto persistente, por consiguiente cuentan con la capacidad de crecer en sitios erosionados, con el historial minero y concentraciones muy altas de Hg (Vidal Durango, 2009). Según Vidal Durango et al 2010 nos dice que es un árbol pionero que nace en suelos poco fértiles, además este árbol es de rápido crecimiento y genera una considerable biomasa en un periodo de corto tiempo; características que pueden ser muy útil para el empleo como planta remediadora (Vidal Durango et al., 2010).

- *Ochroma pyramidale Cav. ex Lam* (Balsa)

Es un tipo de árbol de tamaño grande, cuenta con una copa de tipo caliciforme. El fuste que presenta es liso y puede presentar gambas. La corteza es lisa, gris, pálida y con cicatrices lineales, pero internamente fibrosa. Muestra un follaje perennifolio, sus hojas son simples y alternas, acorazonadas, de un largo de 20 a 40 cm, tienen pelos epidérmicos rojizos con bordes lisos. Es una especie hermafrodita, las flores son olorosas, vistosas, contienen cinco pétalos, blancas pubescentes y con el cáliz color verde, los principales polinizadores que tiene este árbol son los

insectos nocturnos. Produce frutos secos deshicente, largos y cuenta con una forma de bastón; son semi leñosos y cilíndricos de 14 a 24 cm de largo recubiertos de lana, las semillas son abundantes en forma de pequeña gota, ovoides, de 3 a 5 mm de largo, color castaño oscuro y se encuentran envueltas en lana amarillenta y sedosa (Rojas-Rodríguez & Torres-Córdoba, 2009). Se lo utiliza ancestralmente por los agricultores como pieza clave para la recuperación de los niveles de materia orgánica del suelo y el control de arvenses, también a este árbol se lo emplea para la recuperación de áreas degradadas (Douterlungne, 2005).