UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS EN CINCO ESPECIES FORESTALES QUE HABITAN EN LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA”

AUTOR:

Monica Mishell Ocaña Martinez

DOCENTE - TUTOR:

Dr. García Quintana Yudel

Puyo - Pastaza - Ecuador

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

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.	5/5	cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la 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.	17/20	Falta un poco más de claridad hacia el objeto de estudio
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.	15/15	cumple
5. METODOLOGIA		
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 abordó la información.	13/15	Falta un poco más de claridad hacia el diseño para lograr los objetivos

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 están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	23/25	Falta un poco más de contraste con autores, en la parte de discusión
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	cumple
VALORACIÓN TOTAL	93	

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	**X**
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	93 (NOVENTA Y TRES)

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH DEL CARMEN RAMIREZ IGLESIAS

Dra. Ramírez Iglesias Elizabeth, PhD

Dado en la ciudad de Puyo, a los 9 días del mes de agosto del 2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

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.	5/5	El título es conciso y bien informativo sobre el contenido del manuscrito.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	El Resumen está bien estructurada y presenta la información básica sobre la investigación, incorporando los objetivos, metodología, resultados y conclusiones.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la 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.	20/20	La Introducción está bien redactada con una presentación del tema de los metales pesados y la bioremediación por plantas que pueden acumular metales tóxicos como mitigación de las áreas afectadas por la minería.
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.	14/15	La información presentada en el Marco teórico sobre los temas de la minería ilegal, los metales pesados y su toxicidad, y la bioremediación, está bien presentada y coherente. Las descripciones de las especies forestales, tomadas de la literatura, son detalladas pero no está claro si estas descripciones reflejan verdaderamente las muestras obtenidas en el estudio.
5. METODOLOGIA		
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 abordó la información.	12/15	La identificación taxonómica de las especies estudiadas es dudosa porque no se obtuvo especímenes para herbario como comprobantes para confirmar los nombres comunes dados por un nativo de la zona. Las descripciones de la metodología en el laboratorio y los análisis estadísticos de los resultados son bien claras y completas.

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 están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	24/25	Los resultados son bien presentados. Los análisis estadísticos de los resultados en base a las tres repeticiones por especie son bien presentados. Sola se queda la duda sobre la identificación taxonómica de las especies.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Las conclusiones son claras y precisas. Entre las principales conclusiones es el descubrimiento de la utilidad potencial del "pigue", *Pollalesta discolor*, en la fitoremediación en la región, ya que es una especie muy abundante en las áreas de vegetación perturbada cerca de los ríos y las áreas afectadas por la minería ilegal. Este estudio se concluye con una contribución práctica para la región y el país
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Las referencias son completas y están de acuerdo con las normas APA:
VALORACIÓN TOTAL	**95/100**	

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	95/100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
DAVID ALAN NEILL
.

David Alan Neill

Dado en la ciudad de Puyo, a los 8 días del mes de agosto de 2022….

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

Puyo, 04 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Mónica Mishell Ocaña Martínez, con C.I. "1650087842, con el Tema: **Potencial bioacumulador de metales pesados en cinco especies forestales que habitan en la región Amazónica Ecuatoriana** ", de la carrera de Ingeniería Forestal.
Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, Yudel García Quintana, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%.

Informe generado con fecha 04 de agosto del 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
YUDEL GARCIA

Yudel García Quintana
Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE FORESTAL

Ouriginal

Document Information

Analyzed document	DOCUMENTO PARA URKUND.docx (D142662809)
Submitted	8/4/2022 9:20:00 PM
Submitted by	GARCIA QUINTANA YUDEL
Submitter email	ygarcia@uea.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	ygarcia.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE CINCO ESPECIES QUE HABITAN EN ENTORNOS MINEROS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA.docx
Document POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE CINCO ESPECIES QUE HABITAN EN ENTORNOS MINEROS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA.docx (D127158005)
Submitted by: yarteaga@uea.edu.ec
Receiver: yarteaga.uea@analysis.urkund.com
2

SA

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / TESIS (15-07-21) Version 1.doc
Document TESIS (15-07-21) Version 1.doc (D110523456)
Submitted by: dsarabiag@uea.edu.ec
Receiver: dsarabiag.uea@analysis.urkund.com
1

Entire Document

Potencial bioacumulador de metales pesados en cinco especies forestales que habitan en la región Amazónica Ecuatoriana El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados en cinco especies forestales, Inga edulis (Guaba), Castilla elastica (Caucho), Otoba parvifolia (Doncel), Piptocoma discolor (Pigue), y Solanum pachyphylla (Tomate de árbol silvestre), en un área expuesta a la minera ilegal, lo cual ha provocado contaminación del suelo por los metales pesados resultantes de esta actividad. Se analizó el factor de bioconcentración de las cinco especies a partir de la relación de la concentración entre el metal pesado en las hojas y el suelo, mediante espectrometría de absorción atómica analizando las muestras de follaje y suelo donde se desarrolla la especie. En el análisis realizado en tejido foliar y suelo se reportó que las concentraciones para Pb y Al se encontraron por debajo de los límites de detección del equipo (para Pb ≤ 4,808 y para Al ≤ 9,606). La especie P. discolor presentó la mayor potencialidad para la absorción de Cd, Ni y Fe, mostrando mayor capacidad bioacumuladora de estos

“POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS EN CINCO ESPECIES FORESTALES QUE HABITAN EN LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA”

Monica Mishell Ocaña Martinez[1]

for2017@uea.edu.ec

Dr. García Quintana Yudel[1]

ygarcia@uea.edu.ec

[1]Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la tierra, Carrera de ingeniería Forestal

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados en cinco especies forestales, *Inga edulis* (Guaba), *Castilla elastica* (Caucho), *Otoba parvifolia* (Doncel), *Piptocoma discolor* (Pigue), y *Solanum pachyphylla* (Tomate de árbol silvestre), en un área expuesta a la minera ilegal, lo cual ha provocado contaminación del suelo por los metales pesados resultantes de esta actividad. Se analizó el factor de bioconcentración de las cinco especies a partir de la relación de la concentración entre el metal pesado en las hojas y el suelo, mediante espectrometría de absorción atómica analizando las muestras de follaje y suelo donde se desarrolla la especie. En el análisis realizado en tejido foliar y suelo se reportó que las concentraciones para Pb y Al se encontraron por debajo de los límites de detección del equipo (para Pb ≤ 4,808 y para Al ≤ 9,606). La especie *P. discolor* presentó la mayor potencialidad para la absorción de Cd, Ni y Fe, mostrando mayor capacidad bioacumuladora de estos elementos en comparación con las demás especies evaluadas, lo que permite su uso como especie fitorremediadora de áreas contaminadas con Cd, Ni y Fe. La correlación de concentración de los metales en las hojas fue positiva para Ni y Cd y entre Fe y Cd y en el suelo la correlación resultó positiva entre Fe y Ni. Estos resultados aportan las bases para fundamentar una propuesta de especies potenciales para la mitigación de contaminantes con elementos tóxicos en la zona de estudio.

Palabras clave: Bioacumulador, Fitorremediación, Metal pesado.

Asbtract

The objetive of this research was evaluate the heavy metal Bioaccumulator potencial on five forest species, , *Inga edulis* (Guaba), *Castilla elastica* (Caucho), *Otoba parvifolia* (Doncel), *Piptocoma discolor* (Pigue), y *Solanum pachyphylla* (Tomato wild tree), In an

área exposed to ilegal mining what produce soil contamination about of heavy metals resulting from this activity, with the objetive to find potential species to mitigate pollutants with toxic elements. The bioconcentration factor of the five species was analyzed from the concentration ratio between the heavy metal in the leaves and soil,with atomic absorption spectrometry analyzing the samples of foliage and soil where the species develops. In the analysis carried out on leaf tissue and soil, it was found that the concentrations for Pb and Al were below from detection limits of the equipment (for Pb ≤ 4.808 and for Al ≤ 9.606). The species presented the greatest potentiality for the absorption of Cd, Ni and Fe, showing a greater *P. discolor* bioaccumulating capacity of these elements compared to the other evaluated species, which allows its use as a phytoremediating species of contaminated areas with Cd, Ni and Fe. The correlations of metal concentration in the leaves were positive for Ni and Cd and between Fe and Cd. For soil, the correlation was positive between Fe and Ni. These results give the bases to fundament a proposal of potential species to mitigate pollutants whit toxic elements on the studied zone.

Keywords: Bioaccumulator, Phytoremediation, Heavy metal.

Introducción

Los metales pesados son elementos potencialmente tóxicos, y su presencia en el medio ambiente ha incrementado notablemente en las últimas décadas, principalmente por la acción del hombre (Alonso et al., 2004). En el ecosistema las plantas sirven como un componente fundamental para controlar o suprimir diversos contaminantes como los metales pesados , mediante la bioacumulación de contaminantes en sus tejidos, los cuales actúan como filtros vivos (Parihar et al., 2021). Las plantas con fuerte transferencia de metales pesados tienen buena capacidad para reparar la contaminación causada en áreas mineras (Wang et al., 2019). Las plantas son elementos fundamentales en procesos de fitorremediación y seguridad ambiental en sitios contaminados. Pueden servir como biomonitores de la contaminación ambiental, las principales fuentes de metales pesados en las plantas son sus medios de crecimiento y la deposición atmosférica, los árboles pueden absorber tanto los metales esenciales como los no esenciales, la absorción por raíces y hojas aumenta cuando la concentración de metales pesados aumenta en su entorno(Greksa et al., 2019).

Los metales pesados generados por las actividades antropogénicas pueden depositarse en los ecosistemas, amenazando la seguridad ecológica de las regiones

locales y fuentes de agua (Xiao et al., 2021). Los metales depositados en el ambiente tienden a quedar atrapados en los sedimentos, incorporándose a la cadena alimentaria local. La presencia de estos puede inducir efectos tóxicos en los organismos vivos cuando superan determinados límites de concentración (Senez-Mello, Crapez, Ramos y Silva, et al., 2020). En términos de ecotoxicología, elementos como Hg, Cd, Al, Cu y Zn son los más peligrosos para los organismos vivos, incluso concentraciones relativamente pequeñas de estos metales pesados pueden afectar los parámetros fisiológicos y bioquímicos (Zarykhta et al., 2020). Las operaciones mineras son las principales causas de contaminación ambiental en los países en vías de desarrollo donde la gestión de los desechos mineros no es adecuada y como consecuencia los metales pesados son liberados fácilmente al medio ambiente lo que representa un riesgo potencial para la salud (Jiménez-Oyola et al., 2021). La minería de oro artesanal y en pequeña escala se encuentra entre las fuentes más importantes de metales pesados en los ecosistemas, lo que provoca una grave contaminación.

Las actividades de extracción minera realizadas en el sector Ila, el Capricho, cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo han provocado la deforestación del paisaje forestal, acumulación de relaves de grava lavada y la generación de sedimentos, que al no contar con ningún tipo de consideración técnica propicia la erosión el suelo, cambio en el relieve, así como niveles de contaminación en el suelo y en los tejidos foliares de las plantas que habitan en estos ecosistemas. De ahí que se formula el siguiente problema científico: ¿Cómo el potencial bioacumulador de metales pesados en cinco especies forestales permite la identificación de especies fitoremediadoras para áreas contaminadas por la extracción minera en el sector Ila, Provincia de Napo?

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados en cinco especies forestales, *Inga edulis* (Guaba), *Castilla elastica* (Caucho*), Otoba parvifolia* (Doncel), *Piptocoma discolor* (Pigue), y S*olanum pachyphylla* (Tomate de árbol silvestre), como especies fitoremediadoras en áreas que han sido contaminadas por la minería.

Metodología

Área de estudio

El presente estudio se realizó en una finca de unos propietarios, situada a 300 m de un área minera donde se realizan actividades ilegales de extracción de oro, ubicada en el sector Ila, el Capricho, cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador,

colectando muestras de hojas y suelo de cinco especies ubicadas a la orilla del río Anzú (Figura 1).

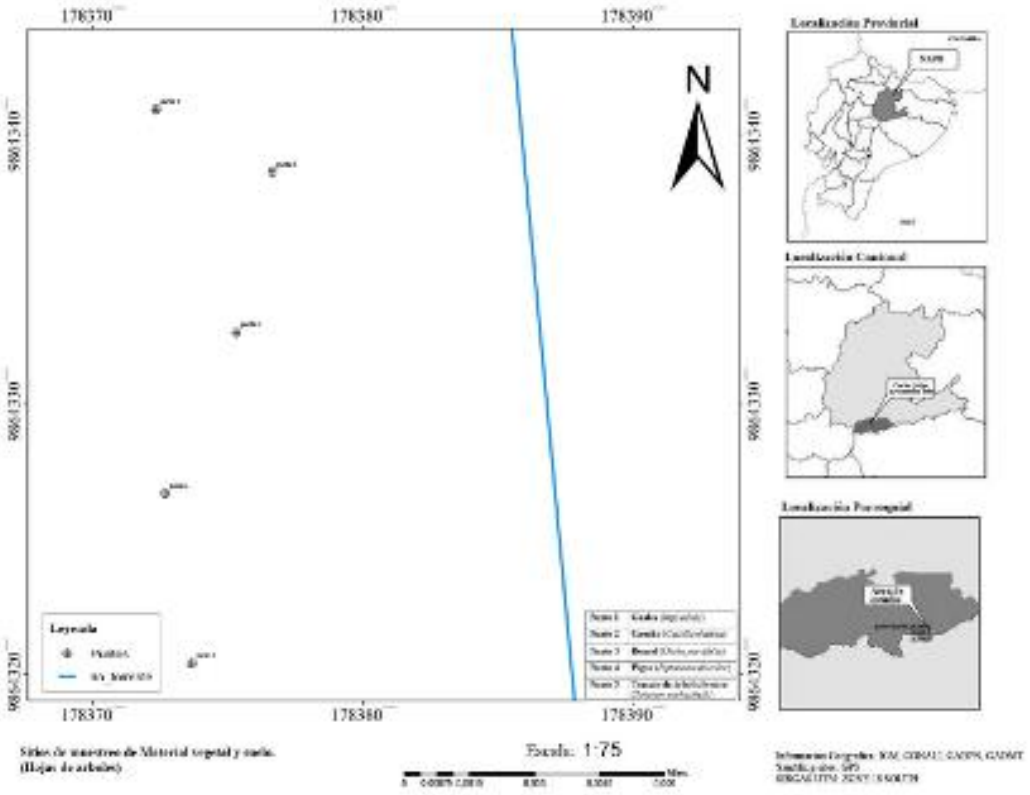

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio cercano a un área de explotación minera.

Tipo de investigación

La investigación realizada fue de tipo descriptiva y analítica.

La investigación descriptiva, porque buscó especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno, describe tendencias de un grupo o población, su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables (Sampieri, 2010). En este caso se describió el comportamiento bioacumulador de metales pesados de las diferentes especies en estudio.

El tipo de investigación analítica permitió sobre la base de los datos obtenidos en campo, a partir de la colecta de hojas y muestras de suelo analizar los diferentes metales que se encuentran en el tejido foliar y en el suelo, lo que facilitó analizar e interpretar sistemáticamente las características del fenómeno estudiado con base a la realidad del escenario planteado (Sampieri, 2010).

Muestreo de material vegetal y suelo

El muestreo de material vegetal y suelo se realizó a partir de la selección de cinco especies arbóreas que se encontraron dentro de la finca a la orilla del río Anzú, cercana a la extracción minera. Las especies se seleccionaron por su importancia económica y ecológica, las cuales fueron: *I. edulis* (Guaba), *C. elastica* (Caucho*), O. parvifolia* (Doncel), *P. discolor* (Pigue) y S. *pachyphylla* (Tomate de árbol silvestre). La identificación botánica de las especies se realizó con la ayuda de un nativo de la zona (Kichwa con alto conocimiento de especies locales), y la verificación taxonómica de cada especie se realizó según información plasmada en el Libro de Árboles de Ecuador (Palacios, 2016) y recursos virtuales (The Plant List, 2019).

El material vegetal se recolectó seleccionando hojas de diferentes ramas alrededor de todo el árbol, cortando primero las ramas evitando el contacto de las hojas con el metal de las tijeras. Seleccionando las hojas en buen estado físico, en las cuales no se evidenciaron daños mecánicos ni enfermedades aparentes. Las muestras fueron etiquetadas y llevadas al laboratorio para el análisis de metales pesados, plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), hierro (Fe) y aluminio (Al).

Las muestras de suelo se tomaron en tres puntos diferentes, a una profundidad de 0-30 cm en un radio de 30 cm alrededor de los árboles seleccionados. Se eliminó la hojarasca y raíces. Las muestras fueron etiquetadas y llevadas al laboratorio para el análisis de metales pesados, plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), hierro (Fe) y aluminio (Al).

Análisis de muestras de hojas y suelo

Las muestras recolectadas de material vegetal y suelo se secaron en una estufa con circulación forzada de aire a 60°C por 72 horas. Las muestras secas se colocaron en un mortero para triturarlas hasta obtener un material fino con un tamaño de partículas inferiores a 2 mm (Greksa et al., 2019).

Para el procesamiento de la digestión de las muestras de suelo y material vegetal cada muestra contó con tres repeticiones (R1, R2, R3), se utilizó un vial previamente etiquetado. Se pesó 0.5 g de muestra de suelo se calcinó en la mufla a 600°C por 5 horas, cuando alcanzó la temperatura ambiente, se agregó 10 mL de ácido nítrico concentrado y se puso a ebullición hasta reducir a 5mL, es decir a la mitad del ácido. Para material vegetal se pesó 0.5 g, se calcinó en la mufla a 600°C y cuando la muestra alcanzó la temperatura ambiente se agregó 5mL de ácido nítrico concentrado y dejó en reposo por 14 horas.

Una vez digeridas las muestras fueron transferidas a un matraz aforado de 50 ml, anteriormente ya etiquetado, y se enrasó con agua destilada. Las muestras fueron filtradas previo al análisis, finalmente las determinaciones de metales pesados se realizaron en un espectrómetro de absorción atómica (TRACE 1200/INTRUMENTS LTD), bajo las siguientes condiciones: tipo de llama para los elementos Pb, Cd, Ni, Fe, aire-acetileno y óxido nitroso-acetileno para Al, flujo de aire 1.5 L min-1, flujo de acetileno 3,5 L min-1, presión de aire 50 psi, presión de acetileno 50 psi y para las condiciones de la lámpara de cátodo hueco, 20 mA de corriente, ancho de rendija 0.2 nm y longitud de onda 217 nm, 228,8 nm, 232 nm, 248,3 nm y 309,2 nm para Pb, Cd, Ni, Fe y Al respectivamente.

Se determinó el factor de bioconcentración (FBC), el cual representó la capacidad de la planta para absorber metales pesados (o cualquier otro elemento químico) de los medios de crecimiento que se puede determinar como una proporción de la concentración de elementos en las plantas y el suelo (Alahabadi et al., 2017). (El FBC se calculó mediante la ecuación 1:

$$\boldsymbol{FBC} = {}^{\boldsymbol{C_{follaje}}}\!/_{\boldsymbol{C_{suelo}}} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

donde $C_{follaje}$ y C_{suelo} representan la concentración de un elemento específico en el material vegetal (follaje) y del suelo, respectivamente. En este trabajo se utilizó el FBC para determinar la cantidad de metales pesados retenidos/acumulados para cada especie arbórea.

Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey para determinar la significación de las diferencias en las concentraciones de metales pesados (Cd, Ni, Fe) en las especies analizadas (*I. edulis*, *C, elastica*, *O. parvifolia P. discolor* y *S. pachyphylla)* y las concentraciones en el suelo donde habitan las mismas. Se hizo un análisis de conglomerados para definir la similitud entre la capacidad de absorción de metales pesados de las especies y se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar las correlaciones en las concentraciones de los metales pesados analizados en las plantas y el suelo. Se empleó el análisis de componentes principales (PCA) para establecer la separación de las plantas analizadas en dependencia de las concentraciones

de los metales pesados en el suelo y los árboles. Para los análisis estadísticos se utilizó el software Origin 2021.

Resultados y discusión

Concentración de metales pesados en hojas y suelo

En el análisis realizado en tejido foliar y suelo se encontró que las concentraciones para Pb y Al se reportaron por debajo de los límites de detección del equipo (para Pb ≤ 4,808 y para Al ≤ 9,606). Se encontraron diferencias significativas en la concentración de Cd foliar para *P. discolor* con valores medios superiores a 0,06 mg/kg, mientras que *O. parvifolia*, *C. elastica* e *I. edulis* presentaron los menores valores. En cuanto al Ni la especie *S. pachyphylla* presentó los menores valores, con medias de 6,87 mg/kg, reportándose diferencias significativas según la prueba de Tukey con el resto de las anteriores. Las especies *P. discolor*, *O. parvifolia*, y *C. elastica* resultaron con mayores valores de Ni foliar. La concentración de Fe foliar fue superior en *S. pachyphylla*. y *P. discolor* con valores medios entre 58-67 mg/kg y los menores valores para el resto de las especies, entre 28-33 mg/kg.

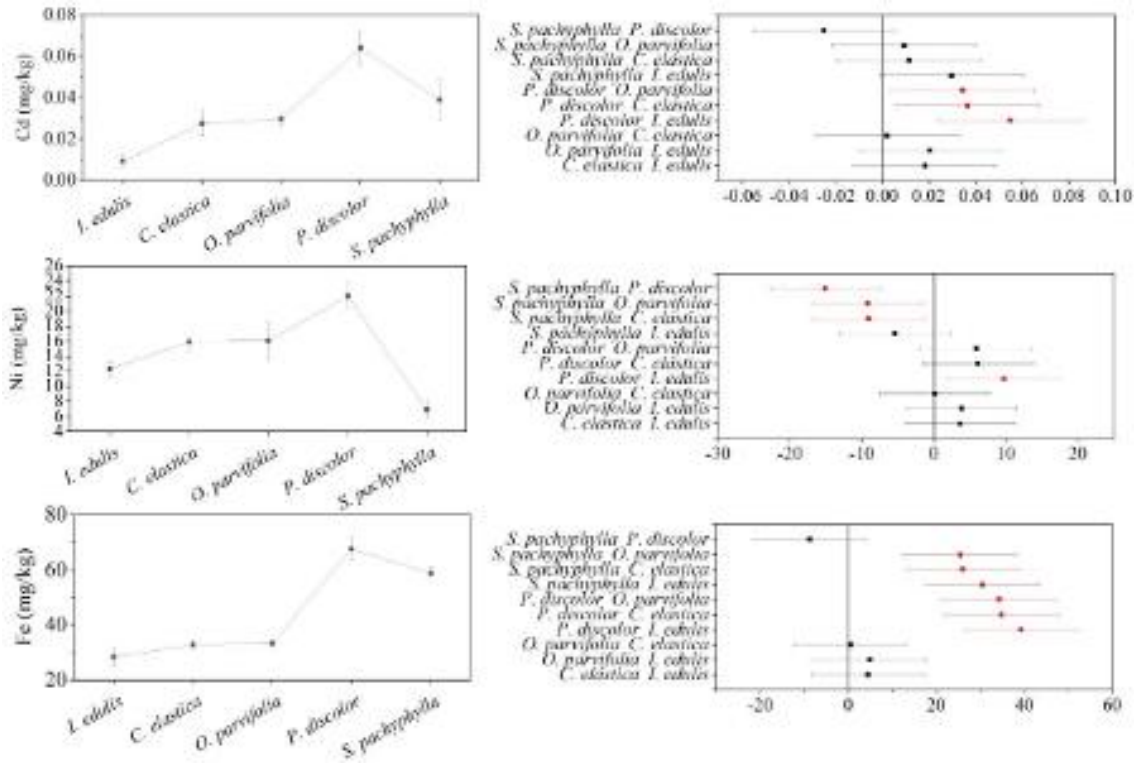

Figura 2. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey (p ≤ 0,05) de la concentración de los metales pesados Cd, Ni y Fe, presentes en hojas de las especies I. edulis, C. elastica, O. parvifolia P. discolor y S. pachyphylla (presenta diferencias significativas, no presenta diferencias significativas).

En la Figura 3 se presentan los resultados de la concentración de metales pesados Cd, Ni y Fe presentes en el suelo donde se encontraban las especies *I. edulis*, *C. elastica*, *O. parvifolia P. discolor* y *S. pachyphylla.* Los resultos indicaron que no se encontraron diferencias significativas en la concentración de Cd en el suelo con valores inferiores a 0,04 mg/kg. En relación al comportamiento del Ni en el suelo se comprobó que el edátopo donde se desarrolla *I. edulis* presentó los mayores valores, cercanos a 28 mg/kg, con diferencias significativas con el resto del suelo donde habitan *C. elastica*, *O. parvifolia, P. discolor* y *S. pachyphylla* donde la concentración estuvo entre 16 mg/kg y 18 mg/kg. El comportamiento del Fe fue similar en todas las unidades de muestreo con valores cercanos a los 1500 mg/kg.

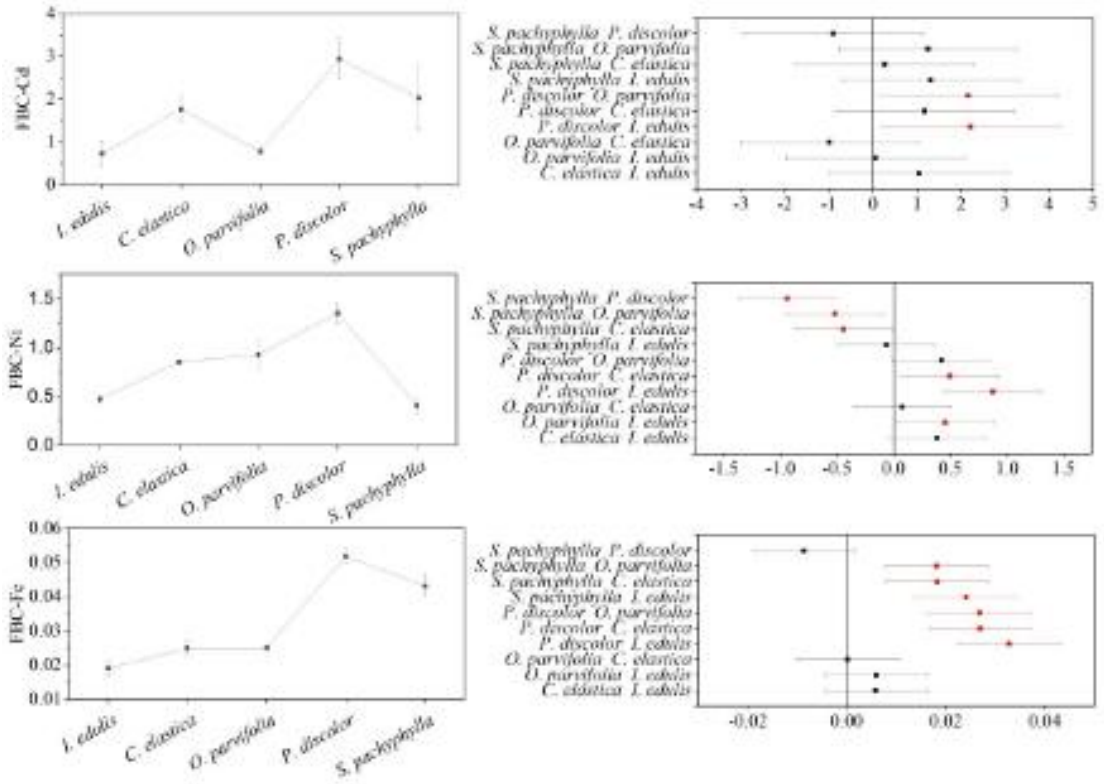

Figura 3.. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) de la concentración de los metales pesados Cd, Ni y Fe, presentes en hojas de las especies I. edulis, C. elastica, O. parvifolia P. discolor y S. pachyphylla. (presenta diferencias significativas, no presenta diferencias significativas).

En la figura 4 se presentan los resultados en cuanto al factor de bioconcentración de las especies *I. edulis, C. elastica, O. parvifolia P. discolor* y *S.* pachyphylla. para los metales Cd, Ni y Fe. La especie *P. discolor* presentó la mayor potencialidad para la absorción de Cd con valores cercanos a 3, resultando con diferencias significativas con el resto de las especies, lo que indica su mayor capacidad bioacumuladora de este elemento, y permite su uso como especie fitorremediadora de áreas contaminadas con Cd. De la misma forma

presentó la mayor capacidad de acumulación de Ni con valores de 1,4 y Fe de 0,05, lo que también indicó su uso potencial para áreas con alto contenido de Ni y Fe.

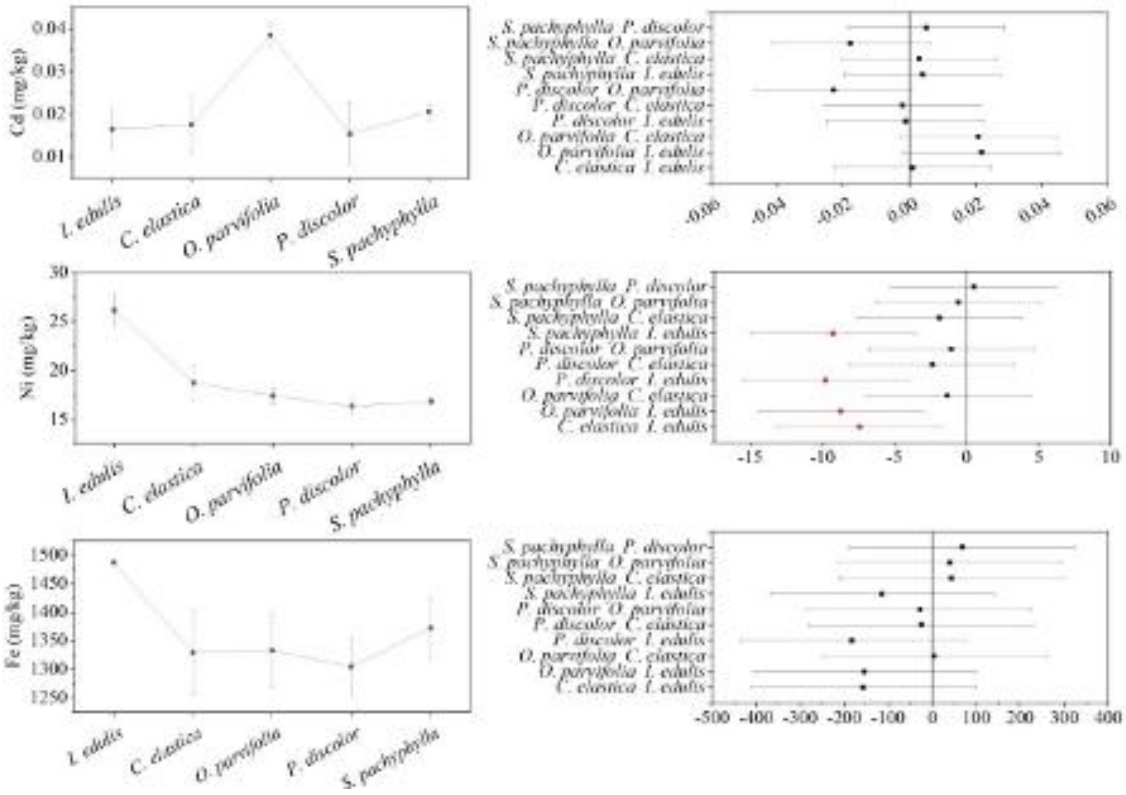

Figura 4. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) para el factor de bioconcentración de Cd, Ni y Fe. de las especies I. edulis, C. elastica, O. parvifolia P. discolor y S. pachyphylla. (presenta diferencias significativas, no presenta diferencias significativas).

De acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson (Figura 5), al analizar la concentración de metales en las hojas de las especies utilizadas se encontró una correlación positiva, cercana o superior al 50%, entre el Ni y el Cd (r = 0,49) y el Fe y Cd (r = 0,73). Las correlaciones positivas cercanas al 50% entre las concentraciones de los elementos en el suelo fueron entre Fe y Ni (r = 0,45).

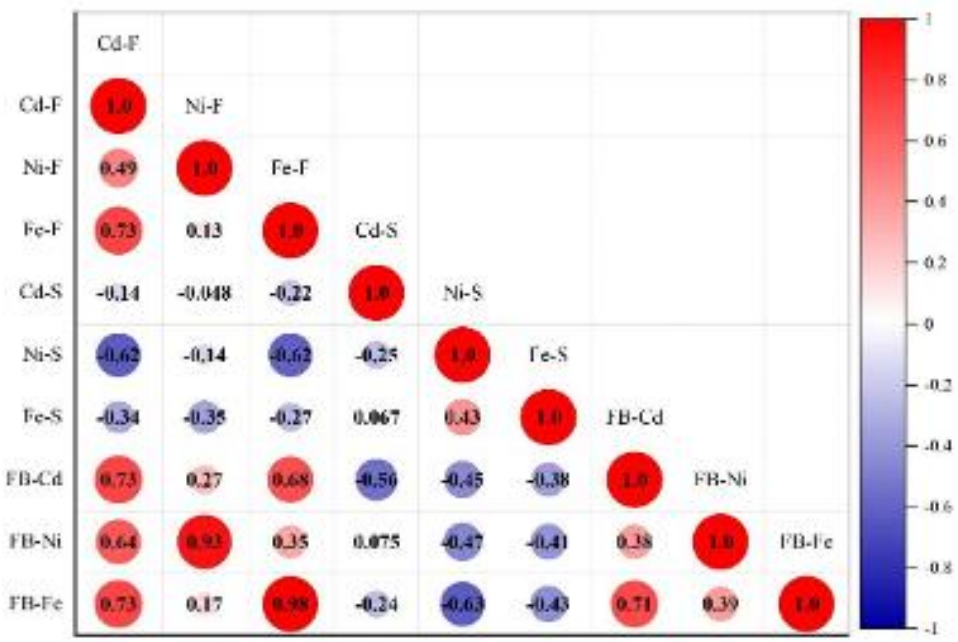

Figura 5. Correlación entre la concentración de metales pesados en las hojas de las especies analizadas y el suelo (el valor numérico corresponde al coeficiente de correlación de Pearson).

El análisis de clúster agrupó todas las especies estudiadas en tres grupos a partir de la concentración de los metales pesados (Cd, Ni, Fe) en las hojas (Figura 6). La concentración de Fe en hojas de *S. pachyphylla* y *P. discolor* formaron un grupo, las concentraciones de Cd en todas las especies analizadas y Ni en *S. pachyphylla* formaron el segundo grupo, mientras que el tercer grupo incluyó las concentraciones de Ni en *I. edulis, C. elastica. O. parviflora, P. discolor* y concentraciones de Fe en *I. edulis, C. elastica O. parviflora.* Estos agrupamientos permitieron clasificar a las especies de acuerdo con su capacidad de acumular los distintos metales pesados, lo que facilita su selección como especies fitorremediadoras para áreas de suelos contaminados por la actividad de extracción minera.

.

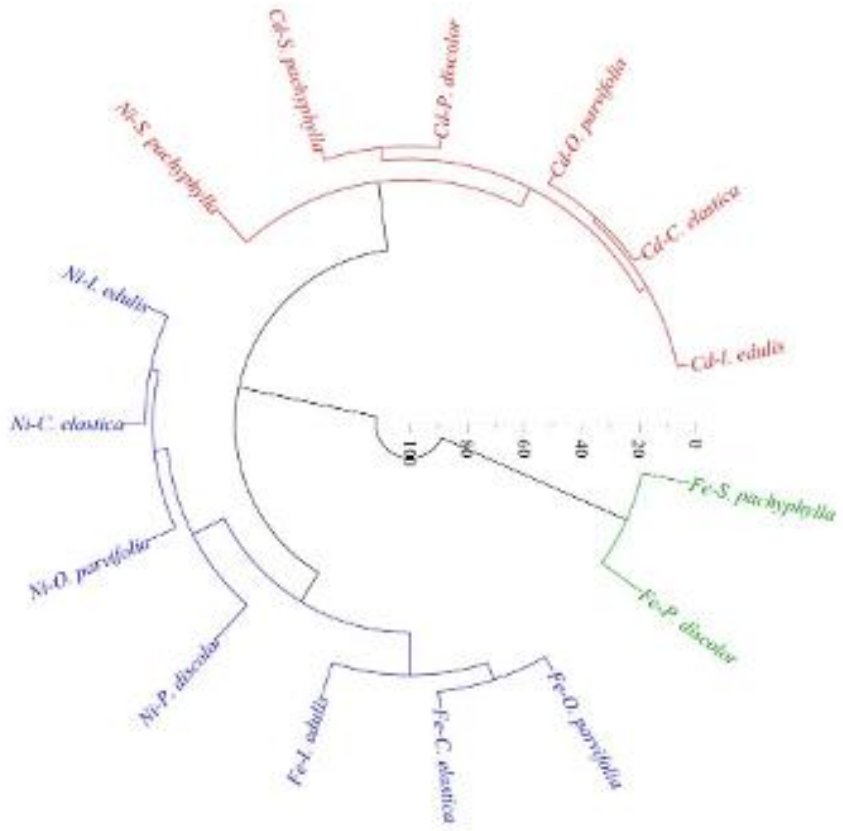

Figura 6. Análisis de cluster a partir de la concentración de metales pesados (Cd, Ni, Fe) en hojas de las especies estudiadas.

A partir de los valores propios de la matriz de correlación de los metales pesados estudiados y con el uso del método de análisis de componentes principales (PCA), el conjunto inicial de los datos se redujo a dos componentes principales que explicaron el 83% de la variabilidad total de los datos. Con base en el análisis PCA, las concentraciones de Ni y Cd en el suelo fueron inferiores a las de Fe (PC 1).

Cuando se observan las plantas en el sistema de coordenadas, determinado por los componentes principales, se puede identificar que el eje PC 1 separa las especies *P. discolor* y *S. pachyphylla*, que se hayan en el lado positivo del eje, con valores menores de concentración de Cd y Ni en el suelo, y mayor valor de Fe. En cambio, *I. edulis*, *C. elastica* y *O. parviflora* que se encontraron en el lado negativo del eje, se caracterizan por mayores concentraciones de Cd y Ni en el suelo. El análisis del factor de bioconcentración en el sistema de coordenadas resultó con un patrón diferenciado para la especie *P. discolor*, lo que coincide con lo expuesto anteriormente en relación a su capacidad bioacumuladora.

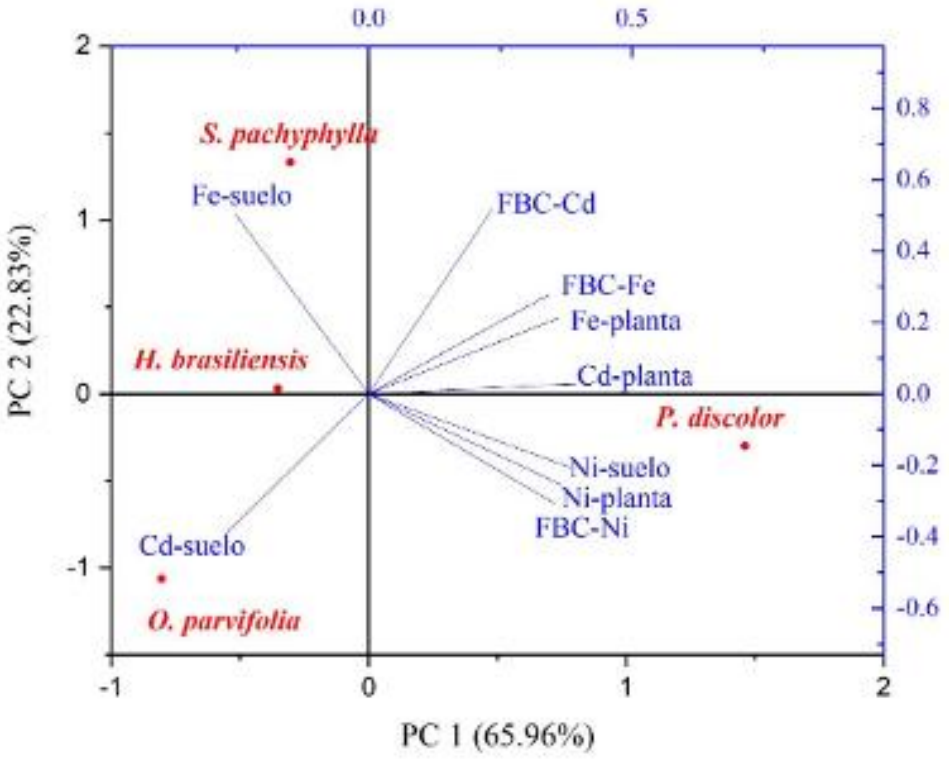

Figura 7. Resultados del análisis del PCA de concentraciones de metales pesados (Cd, Ni, Fe) en hojas de I. edulis, C. elastica, O. parvifolia P. discolor y S. pachyphylla y suelo

Discusión

El análisis del material foliar de las cinco especies forestales que habitan comúnmente en las zonas mineras de la región amazónica ecuatoriana y de las muestras de suelo donde se desarrolla cada especie en estudio permitió identificar cuáles presentaron potencial bioacumulador de Pb, Cd, Ni, Fe y Al, para mitigar la posible contaminación por alguno de estos elementos en el medio ambiente donde habiten. Sin embargo, las concentraciones para Pb y Al se encontraron por debajo de los límites de detección del equipo (para Pb ≤ 4,808 y para Al ≤ 9,606). El análisis de suelo entre 0-30 cm fue usado como indicador de la contaminación, ya que de acuerdo a algunos autores la concentración máxima promedio se encuentra en la capa del suelo entre 0 y 30 cm (Šichorová et al., 2004; Wu et al., 2013). Las concentraciones de metales pesados podrían ser mayores a una profundidad superior a 30 cm, pero sus formas químicas difieren con la profundad y, por lo tanto, pueden no ser fácilmente disponible para las plantas (Wu et al., 2013). De acuerdo a la regulación Ecuatoriana (TULSMA, 2012) se encontró que la concentración de Cd superó los valores permisibles (0.01 mg-l), Ni y Fe, no se encuentran regulados. Es fundamental resaltar el potencial bioacumulador de la especie,

independientemente de que el suelo se encuentre contaminado ó no. Si la planta tiene la capacidad de absorber alguno de los elementos, considerados como elementos contaminantes, entonces esta especie puede ser usada como fitorremediadora de suelos contaminados. Estudios previos han reportado el potencial bioacumulador de Hg que presenta *I. edulis*, ya que ha sido empleada para la fitorremediación en un sitio minero contaminado con metales pesados(Marrugo-Negrete et al., 2016).

De igual manera, en un estudio realizado en especies para fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, en Perú, la especie *P. discolor* presentó la mayor concentración de hidrocarburos en sus hojas, resaltando su potencial como especie bioacumuladora (Yoplac Vigo & Tuesta Chavez, 2018).

Para las especies de *O. parvifolia, y S.* pachyphylla no se han reportados estudios de la capacidad de absorción de metales pesados, por lo que con esta investigación se reporta por primera vez el potencial bioacumulador de estas especies.

Conclusiones

La capacidad de bioacumulación de metales pesados de Cd, Ni, Fe de las especies *I. edulis*, *C. elastica*, *O. parvifolia*, *P. discolor* y *S.* pachyphylla, obtenido a partir del factor de bioconcentración, facilita la propuesta de especies fitoremediadoras para áreas contaminadas por las prácticas de extracción minera en el sector Ila, Napo, como contribución a la mitigación de los impactos ambientales en áreas con importantes reservorios de bosques.

La especie *P. discolor* presentó mayor potencialidad para la absorción de Cd y Ni, con diferencias significativas con el resto de las especies de estudio, lo que indicó su mayor capacidad bioacumuladora en cuanto a Cd y Ni, permitiendo su uso como especie fitorremediadora de áreas contaminadas con estos metales pesados.

Los resultados del análisis de correlación permitieron identificar que no existe alta correlación entre el elemento en el suelo y la hoja, lo que indicó que la absorción depende de la capacidad de bioconcentración de la especie. Estos resultados constituyen una primera aproximación para identificar especies potenciales en función del contaminante en áreas utilizadas por la extracción de la minería.

Bibliografía

Alahabadi, A., Hassan Ehrampoush, M., Miri, M., Ebrahimi Aval, H., Yousefzadeh, S., Reza Ghaffari, H., Ahmadi, E., Talebi, P., Abaszadeh Fathabadi, Z., Babai, F., Nikoonahad, A., Sharafi, K., & Hosseini-Bandegharaei, A. (2017). *A comparative study on capability of different tree species in accumulating heavy metals from*

soil and ambient air. *172*.

Alonso, J., Ma, G., Mj, P., & M, M. (2004). Acumulación de metales pesados en macromicetos comestibles. *Revista de Toxicología*, *21*. file:///C:/Users/DELL/Desktop/metales pesados.pdf

B Vargas, Y., G Alcivar, W., M Alcivar, E., A Tinoco, L., & Viera, W. (2018). *Comportamiento Agronómico de tomate de Árbol (Solanum betaceaum cav.) Injerto en Solanánecas Silvestsres de la Amazonia Ecuatoriana*. http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf

Erazo, G., Izurieta, J. C., Cronkleton, P., Larson, A., & Putze, L. (2014). El uso de pigüe (Piptocoma discolor) por los pequeños productores de Napo, Ecuador. *Brief*, *26*, 1–6. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/infobrief/4424-infobrief.pdf

Falusi Ba, & Olanipekun EO2. (2007). *Bioconcentration factors of heavy metals in tropical river crab (carcinus sp) Aponwe, Ado-Ekiti, Nigeria*.

González, A., Borja, V., & Papue, E. (2014). *Crecimiento y conservación de Piptocoma discolor (Pigüe) en la Provincia de Pastaza, Ecuador Growth and conservation of Piptocoma discolor (Pigüe) in the Province of Pastaza-Ecuador*. *6*(3), 366–379. http://www.cifor.org/library/4424/el-uso-de-pigue-piptocoma-discolor-por-los-pequenos-productores-de-napo-ecuador-manejo-sostenible-de-una-especie-pionera-de-madera-para-los-medios-de-vida-locales

Greksa, A., P. Branka, B. Blagojevic, V. Radonic, & M. Sekulic. (2019). *Potential of urban trees to mitigate heavy metal pollution in the city of Novi Sad, Serbia*.

Isminio Ramírez, M. A. (2006). *Estimación del carbono en la biomasa aérea del café (Coffea arabica var.Catimor) bajo sombra de Guaba (Inga edulis) en la Provincia de Lamas-Perú*. 60. http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/795/TP-P08_I82.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jiménez-Oyola, S., Chavez, E., García-Martínez, M. J., Ortega, M. F., Bolonio, D., Guzmán-Martínez, F., García-Garizabal, I., & Romero, P. (2021). Probabilistic multi-pathway human health risk assessment due to heavy metal(loid)s in a traditional gold mining area in Ecuador. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *224*. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112629

Kashyap, R., Verma, K. S., Thakur, M., & Verma, Y. (2016). *Phytoextraction and Bioconcentration of Heavy Metals by Espinacia oleracea Cultivated in soil irrigated with effluents from paper mills*.

Kerly Estefanía Ulloa, & Espín Sandoval, L. F. (2019). *Facultad De Jurisprudencia Y Ciencias Sociales Carrera De Derecho Tema : " La Minería Ilegal Y La Vulneración De Los Derechos De La Naturaleza ."* https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30494/1/FJCS-DE-1115.pdf

López, R., Neill, D., Torres, B., Guerra, D., & Sumaco, H. (2014). *Napumanta wapa yura (Otoba parvifolia). May 2017*. https://www.uea.edu.ec/wp-content/uploads/2018/07/vol_12_articulo_1.pdf

Marrugo-Negrete, J., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J., & Díez, S. (2016). Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site. *Science of the Total Environment*, *542*, 809–816. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.117

Murillo-Pérez, G., & Rodríguez, A. (2021). Dichotomous keys to the species of solanum (Solanaceae) in Mexico. *Botanical Sciences*, *99*(2), 413–446. https://doi.org/10.17129/BOTSCI.2713

Nacional, I., & Agrícolas, C. (2015). Reseña bibliográfica Resistencia a insectos en tomate (Solanum spp.) Review Insect resistance in tomato (Solanum spp.).

Cultivos Tropicales, *36*(2), 100–110. http://ediciones.inca.edu.cu

Panday, R., Basnet, B. B., Bhatt, P. S., & Tamrakar, A. S. (2003). *Bioconcentración de metales pesados en lombrices de vermicompostación (Eisenia fetida, Perionyx excavatusyLampito mauricio) en Nepal*. 416–418.

Palacios, W. (2016). *Arboles del Ecuador: Familias y géneros; especies representativas.* Ciudadela el Olivo. Universidad Técnica del Norte Ibarra-Ecuador. 882 p.

Parihar, J. K., Parihar, P. K., Pakade, Y. B., & Katnoria, J. K. (2021). *Bioaccumulation potential of indigenous plants for heavy metal phytoremediation in rural areas of Shaheed Bhagat Singh Nagar, Punjab (India)*. 2426–2442.

Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *10*(1), 29–44. https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf

Quijia-Quijia, M., Castillo-Torres, S., Vasquez-Castillo, W., & Racines-Oliva, M. (2020). Fenología floral de la guaba (Inga edulis) en un valle interandino del Ecuador. *Enfoque UTE*, *11*(3), 25–34. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n3.526

Raskin, I., Kumar, P. N., Dushenkov, S., & Salt, D. E. (1994). Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion in Biotechnology*, *5*(3), 285–290. https://doi.org/10.1016/0958-1669(94)90030-2

Restrepo Cardona, A., Orrejo Uribe, V., & Zapata Serna, G. E. (2020). *Minería ilegal en el bajo cauca antioqueño, impactos, causas y problemáticas* (Issue 1). https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6351/Minería ilegal en el bajo cauca antioqueño%2C impactos%2C causas y problemáticas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Senez-Mello, T. M., Crapez, M. A. C., Ramos e Silva, C. A., da Silva, E. T., & da Fonseca, E. M. (2020). Spatial Variability of Heavy Metals in Native Oysters From an Anthropogenically Impacted Estuary in Northeastern Brazil. *Frontiers in Marine Science*, *7*, 1–10. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00412

Senez-Mello, T. M., Crapez, M., Ramos y Silva, C. A., & Fonseca, M. (2020). Heavy metals bioconcentration in Crassostrea rhizophorae: A site-to-site transplant experiment at the Potengi estuary, Rio Grande do Norte, Brazil. *Scientific Reports*, *10*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-019-57152-w

Šichorová, K., Tlustoš, P., Száková, J., Kořínek, K., & Balík, J. (2004). Horizontal and vertical variability of heavy metals in the soil of a polluted area. *Plant, Soil and Environment*, *50*(12), 525–534. https://doi.org/10.17221/4069-pse

Soto-Benavente, M., Rodriguez-Achata, L., Olivera, M., Sanchez, V. A., Nano, C. C., & Quispe, J. G. (2020). Health risks due to the presence of heavy metals in agricultural products cultivated in areas abandoned by gold mining in the Peruvian Amazon. *Scientia Agropecuaria*, *11*(1), 49–59. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06

Takarina, N. D., & Pin, T. G. (2017). Bioconcentration Factor (BCF) and Translocation Factor (TF) of Heavy Metals in Mangrove Trees of Blanakan Fish Farm. *Makara Journal of Science*, *21*(2). https://doi.org/10.7454/mss.v21i2.7308

TULSMA. (2012). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA. *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003*, 1–319. http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Texto-Unificado-de-Legislacion-Secundaria-del-Ministerio-del-Ambiente.pdf

Velásquez, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de

recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *8*(1), 151–168. https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2065#:~:text=Los derivados de hidrocarburos -gasolina,pueden ser transportados por escorrentía

Wang, Z., Liu, X., & Qin, H. (2019). Bioconcentration and translocation of heavy metals in the soil-plants system in Machangqing copper mine, Yunnan Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, *200*, 159–166. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.02.005

Wu, Y., Peng, X., & Hu, X. (2013). Vertical distribution of heavy metal in soil of abandoned vehicles dismantling area. *Asian Journal of Chemistry*, *25*(15), 8423–8426. https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.14770

Xiao, J., Han, X., Sun, S., Wang, L., & Rinklebe, J. (2021). Heavy metals in different moss species in alpine ecosystems of Mountain Gongga, China: Geochemical characteristics and controlling factors. *Environmental Pollution*, *272*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115991

Yoplac Vigo, K. E., & Tuesta Chavez, O. (2018). Prospección de especies *A*rbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en el distrito de imaza, bagua, amazonas.

Zarykhta, V. V., Zhang, Z., Kuznetsova, T. V., Ozerski, P. V., & Feng, Y. J. (2020). Differential Accumulation of Heavy Metals in Soft Tissues of Three Bivalvian Species from the Songhua River near Harbin (China). *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, *56*(2), 125–132. https://doi.org/10.1134/s0022093020020040

Anexos

Marco teórico

Minería Ilegal

La minería es la obtención selectiva de minerales de la corteza terrestre, corresponde a una actividad económica primaria debido a que la comercialización de los minerales extraídos genera grandes ganancias, sin embargo, el impacto negativo que se genera por esta actividad hacia la naturaleza y su biodiversidad es igual o mayor a la de su costo (Kerly Estefanía Ulloa & Espín Sandoval, 2019).

La minería ilegal surge en base al interés de los grupos al margen de la ley, quienes incrementan sus finanzas con una práctica que no cumple con los requisitos propios de esta actividad, como lo son licencias que permiten un funcionamiento adecuado conforme a la ley (Restrepo Cardona et al., 2020).

La minería es una de las principales fuentes de contaminación por metales pesados, además de generar problemas sociales y ambientales es un potencial riesgo para la salud (Soto-Benavente et al., 2020). El impacto causado por la minería depende de la ubicación geográfica, si el área posee bosque se daría una deforestación y con esto la eliminación de la biodiversidad local, en minas de cielo abierto el impacto puede ser corto, mediano y de largo plazo afectando a especies de fauna y flora, además la salud de

las comunidades locales se ve afectada ya que la minería usa grandes cantidades de agua y los metales pesados usados en la extracción de los minerales preciosos es arrastrado con ayuda de la lluvia contaminando grandes extensiones de tierra y finalmente los afluyentes de agua (Kerly Estefanía Ulloa & Espín Sandoval, 2019).

Metales pesados

Un metal pesado es cualquier elemento químico este puede ser metálico o no, su densidad es relativamente elevada y puede ser toxico o venenoso incluso en concentraciones muy bajas (Prieto Méndez et al., 2009). La evaluación de los metales pesados como el Cd,Hg, Pb y As es esencial ya que son tóxicos y acumulables por los organismos(Soto-Benavente et al., 2020).

El plomo es un contaminante altamente toxico y su presencia en el ambiente se debe principalmente a la acción del hombre y sus actividades como la Industria, minería y fundición (Prieto Méndez et al., 2009).

El Mercurio es un elemento natural se encuentra en el aire, agua y el suelo, es un contaminante ambiental toxico, la minería de oro artesanal es el sector de mayor demanda de Hg y una de las principales fuentes de contaminación por hg al ecosistema, el manejo inadecuado de Hg ha llevado a la contaminación de muchos compartimentos ambientales, puede causar daños graves a los seres humanos y la vida silvestre (Marrugo-Negrete et al., 2016).

Metales pesados en los organismos

Los organismos vivos necesitan pequeñas cantidades de algunos metales pesados, como el hierro, cobalto, cobre, magnesio, molibdeno, estroncio, vanadio y zinc. Sin embargo, los niveles excesivos de estos metales pueden ser perjudiciales para los organismos vivos. Y se conoce que otros metales pesados como el cadmio, el plomo y el mercurio no tienen efectos beneficiosos (Falusi Ba & Olanipekun EO2., 2007). La disponibilidad de metales pesados para los organismos desde el sustrato viene dada por los valores de los factores de bioconcentración (FBC) (Panday et al., 2003). La absorción de metales del suelo depende de diferentes factores como su contenido soluble en el suelo, el pH, las etapas de crecimiento de las plantas y tipos de especies. Las diferentes especies de plantas tienen una variedad de capacidades para remover y acumular metales pesados (Kashyap et al., 2016).

Plantas bioacumuladoras

Las plantas pueden compararse con bombas impulsadas por energía solar que extraen y concentran ciertos elementos de su entorno. La morfología de las plantas es un

ejemplo de cómo las plantas pueden producir una gran proporción de área superficial a volumen para maximizar esta acumulación. Las plantas emplean tres estrategias básicas para crecer en suelos metalíferos, los excluidores de metal previenen efectivamente que el metal ingrese a sus partes áreas en un amplio rango de concentraciones de metales en el suelo; sin embargo, aún pueden contener grandes cantidades de metal en sus raíces. Los no excluyentes de metales acumulan activamente metales en sus tejidos y se pueden dividir aproximadamente en dos grupos: indicadores e hiperacumuladores. Los niveles de metales en los tejidos de las especies indicadoras generalmente reflejan los niveles de metales en el suelo. Los hiperacumuladores pueden concentrar metales en sus tejidos superficiales a niveles muy superiores a los presentes en el suelo o en las especies acumulativas que crecen cerca (Raskin et al., 1994). Casi todas las especies bioacumuladoras de metales pesados conocidas fueron descubiertas en suelos metalíferos. Un metal se considera no bioacumulativo si su BCF < 1000. Si el BCF toma valores de 1000 a 5000, un metal se considera bioacumulativo; cuando BCF está por encima de 5000, entonces un metal se considera muy bioacumulativo.

Fitorremediación

La fitorremediación es el tratamiento de problemas ambientales mediante el uso de especies vegetales tolerantes a elevados niveles de concentración de metales pesados en suelos y agua (Prieto Méndez et al., 2009). El proceso de unión de metales pesados en las plantas ocurre a través de los mecanismos de acumulación y tolerancia de metales pesados. Las plantas que tienen factores de bioconcentración y translocación >1 pueden usarse como bioacumuladores. Las plantas bioacumuladoras pueden acumular altas concentraciones de metales pesados cuando se encuentran en su habitad natural. La translocación de materiales en las plantas ocurre a través del sistema vascular o el tejido del xilema. Su función principal es transportar agua, aunque potencialmente también podrían transportarse metales pesados desde las raíces hasta las hojas. Además, la velocidad de translocación de metales pesados puede estar influenciada por los sistemas responsables de la acción capilar en las plantas (Takarina & Pin, 2017).

El factor de Bioacumulación (BAF) es la faceta más importante de la fitorremediación que refleja el potencial de las plantas para regular la absorción y movilidad de los metales pesados en sus tejidos, lo que conduce a su bioacumulación en las partes áreas. La exploración de especies de plantas con la capacidad fitorremediadora especifica de la situación más ventajosa sin efectos fisiológicos/morfológicos ha estado en constante consideración para lograr una desintoxicación eficiente de metales en el

suelo (Parihar et al., 2021). Los metales pesados actúan directamente a nivel celular, sin embargo, los factores ambientales pueden favorecer la bioacumulación. Como tendencia general, el metal se divide rápidamente entre el sedimento y la fase acuosa, dependiendo del pH del agua y las sales disueltas (Senez-Mello, Crapez, Ramos e Silva, et al., 2020). El crecimiento de las plantas altera las propiedades del suelo, lo que puede facilitar la remediación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, de esta manera tanto los hidrocarburos como los metales pesados pueden ser captados por las plantas, evitando la extensión el daño en los ecosistemas (Velásquez, 2017).

Principales características ecológicas y económicas de las especies forestales

Inga edulis (Guaba)

La guaba es un árbol de copa densa, alcanza una altura de hasta 30 m, con diámetro de 30 a 60 cm de tronco. *I edulis* ayuda a controlar la fragmentación del suelo evitando la erosión, ya que tolera suelos ácidos. Es una planta que se adaptada a las condiciones de climas tropicales y subtropicales, a climas con temperaturas medias iguales o superiores a 20 ^{0}C, se adapta a condiciones de precipitación entre 1.000 y más de 5.000 mm, suelos ácidos con pH 4,0 y alta saturación con aluminio. Es usada en sistemas agroforestales como especie sombreadora de cultivos como café y cacao (Isminio Ramírez, 2006). Anualmente al caer las hojas se forma una capa que ayuda a mantener la humedad en el suelo, aporta nitrógeno y suprime el crecimiento de malezas. Las plantas se han ido adaptando a las distintas condiciones ambientales de clima y suelo. Por esta razón, la floración va de la mano con las condiciones ambientales a las que se encuentren expuestas, como la luz temperatura y disponibilidad de nutrientes. El principal objetivo de la floración es la reproducción de una planta, por lo cual, cada planta se caracteriza por experimentar transformaciones o cambios muy notables en un tiempo determinado. Todos estos cambios tienen orígenes en procesos bioquímicos internos de la planta, que tienen relación con las condiciones ambientales (Quijia-Quijia et al., 2020). La pulpa de la fruta se consume como alimento, las semillas y hojas forman parte de la medicina tradicional de algunas comunidades ya que se le atribuyen propiedades astringentes.

Castilla elastica (Caucho*)*

El caucho es nativo de México, Centroamérica, Colombia y Ecuador. Es un árbol monoico o dioico de dosel (12–30m), todas sus estructuras exudan un látex lechoso. Ramas glabrescentes con tricomas ferrugíneos y cicatrices anulares debido a la caída de las estípulas. Hojas simples (10–30×5–12 cm) y alternas, oblongo-elípticas, márgenes

ligeramente dentados, ápice acuminado, base cordata, haz áspero, envés cubierto por un indumento ferrugíneo. Inflorescencia unisexual, discoidea y rodeada de brácteas. La infrutescencia es un agregado de drupéolas sobre un receptáculo discoideo.

Especie se encuentra ampliamente distribuida en la vertiente de los Andes, entre 0 y 1200m de altitud. Se la encuentra creciendo aisladamente en potreros y remanentes boscosos. Sus frutos son consumidos por aves, guantas y guatusas. Facilita la descompactación del suelo. El látex es la fuente principal del caucho. El tallo es maderable. Se la siembra en sistemas agroforestales.

Otoba parvifolia (Doncel)

Especie nativa de la amazonia ecuatoriana muy importante por su valor ecológico y comercial, su altura llega hasta los 30 m y un DAP de 80 cm, se desarrolla en condiciones adversas como competencia de luz y nutrientes en bosques tropicales y subtropicales de Sudamérica, la especie de desarrolla muy bien en áreas húmedas o pantanosas. Las semillas son dispersadas principalmente por aves, ocasionalmente interviene monos y roedores. Esta planta es muy susceptible al ataque de hongos e insectos, la madera es empleada en chapas, cajonería, carpintería general, elaboración de juguetes, construcciones, tableros, enlistonados y aglomerados. El Doncel al igual que otras especies semiduras de "alta abundancia" y considerados de "alto interés comercial" a pesar de estas condiciones, son especies cada vez más escasas en el bosque nativo (López et al., 2014).

Piptocoma discolor (Pigue)

Es una especie considerada pionera por su forma natural de crecimiento en los claros del bosque, es de madera blanda y crecimiento rápido puede alcanzar una altura máxima de 30m y un diámetro aproximado de 60 cm. La mayor densidad de árboles de *P. discolor* se presenta en el bosque secundario, con una temperatura media de *20 ^{0}C.* La dispersión de semillas es realizada por el viento, gracias a las escamas de florales típicas de la familia Asteraceae, existe naturalmente en los sistemas de rotación de cultivos (González et al., 2014). El pigue se utiliza principalmente en la fabricación de cajas para el transporte de frutas y vegetales de la región, forma parte de la industria artesanal en la transformación y fabricación de productos de pigue constituyen una fuente de empleo e ingresos importantes de las zonas rurales(Erazo et al., 2014) .

Solanum pachyphylla (Tomate de árbol silvestre)

El género Solanum incluye hierbas anuales, hierbas perennes y epífitas, lianas herbáceas, bejucos, sufrútices, arbustos y árboles. Las flores son pentámeras,

gamosépalas y gamopétalas con corolas estrelladas, pentagonales o rotadas y anteras dehiscentes por poros apicales. El fruto es una baya. Solanum es uno de los 10 géneros más ricos de angiospermas e incluye a 1,234 especies e incluye especies con importancia económica y cultural. *S, pachyphylla* posee anteras con un conectivo alargado y diferenciado que funciona como osmóforo floral; hojas dimórficas, las caulinares lobadas o pinnatisectas, las de las partes reproductivas enteras (Murillo-Pérez & Rodríguez, 2021). Pertenece a la familia solanaceae, el tomate posee una amplia variabilidad genética y explotable en las especies silvestres pertenecientes a este género. Al ser plantas silvestres son especies muy resistentes a plagas y enfermedades (Nacional & Agrícolas, 2015). Se han hecho estudios de injertos de *Solanum betaceum cav,* en algunas especies *de* solanáceas silvestres con el propósito de crear plantas más resistentes a diferentes patógenos (B Vargas et al., 2018) Estas plantas se desarrolla en bosques húmedos montanos los frutos del tomate de árbol silvestre son apetecidos por las aves siendo una especie de importancia ecológica.