UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

Identificación de especies arbóreas de interés forestal con capacidad de fitorremediación para sitios contaminados por la minería, Amazonía ecuatoriana

AUTOR(ES):

Steffany Alejandra Erazo Vera

Génesis Abigail Villarroel Vargas

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Yudel García Quintana PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

Identificación de especies arbóreas de interés forestal con capacidad de fitorremediación para sitios contaminados por la minería, Amazonía ecuatoriana

AUTOR(ES):

Steffany Alejandra Erazo Vera

Génesis Abigail Villarroel Vargas

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Yudel García Quintana PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

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

Puyo, 02-03-2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Steffany Alejandra Erazo Vera, con C.I. 1501235772, con el Tema: "IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS DE INTERÉS FORESTAL CON CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN PARA SITIOS CONTAMINADOS POR LA MINERÍA, AMAZONÍA ECUATORIANA", de la carrera de Ing. Forestal. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, Dr. Yudel García Quintana, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3%, Informe generado con fecha 02-03-2023 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
YUDEL GARCIA QUINTANA

Dr. Yudel García Quintana

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	SEGUNDA ENTREGA ERAZO-VILLARROEL MODIFICADA- urkund.docx (D159910144)
Submitted	2023-03-02 17:08:00
Submitted by	GARCIA QUINTANA YUDEL
Submitter email	ygarcia@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	ygarcia.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**TRABAJO FINAL.docx** Document TRABAJO FINAL.docx (D120102676)	1
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/365936740_Fitorremediacion_de_suelos_contaminados_por... Fetched: 2022-12-30 04:35:28	3

Entire Document

Identificación de especies arbóreas de interés forestal con capacidad de fitorremediación para sitios contaminados por la minería, Amazonía ecuatoriana.

Resumen

En la actualidad son cada vez más importantes los estudios de especies fitorremediadoras en sitios contaminados por la minería debido a la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber y acumular compuestos contaminantes, además de ser una alternativa rentable y con un gran impacto ambiental. El objetivo del presente estudio fue identificar especies arbóreas de interés forestal con capacidad de
fitorremediación en sitios contaminados por la minería en la comunidad el Capricho,
cantón Julio Arosemena Tola en base al potencial bioacumulador de metales pesados, para lo cual se realizó un muestreo de suelo y tejido foliar en cinco especies: Hieronyma asperifolia (motilón), Cordia alliodora (laurel), Otoba parviflora (doncel), Aniba riparia (canelo amarillo) y Himatanthus sucuuba (lechero) y se determinó la concentración de metales pesados (Zn, Fe, Cu y Pb) mediante espectrometría de absorción atómica. Los resultados demostraron que existen patrones de variación en cuanto a
la concentración de metales pesados en las hojas, el suelo y el factor de biococentración, sin embargo, todas las especies

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

Puyo, 02-03-2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Génesis Abigail Villarroel Vargas, con C.I. 1600837486, con el Tema: "IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS DE INTERÉS FORESTAL CON CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN PARA SITIOS CONTAMINADOS POR LA MINERÍA, AMAZONÍA ECUATORIANA", de la carrera de Ing. Forestal. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, Dr. Yudel García Quintana, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3%, Informe generado con fecha 02-03-2023 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
YUDEL GARCIA QUINTANA

Dr. Yudel García Quintana

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	SEGUNDA ENTREGA ERAZO-VILLARROEL MODIFICADA- urkund.docx (D159910144)
Submitted	2023-03-02 17:08:00
Submitted by	GARCIA QUINTANA YUDEL
Submitter email	ygarcia@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	ygarcia.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**TRABAJO FINAL.docx** Document TRABAJO FINAL.docx (D120102676)	1
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/365936740_Fitorremediacion_de_suelos_contaminados_por... Fetched: 2022-12-30 04:35:28	3

Entire Document

Identificación de especies arbóreas de interés forestal con capacidad de fitorremediación para sitios contaminados por la minería, Amazonía ecuatoriana.

Resumen

En la actualidad son cada vez más importantes los estudios de especies fitorremediadoras en sitios contaminados por la minería debido a la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber y acumular compuestos contaminantes, además de ser una alternativa rentable y con un gran impacto ambiental. El objetivo del presente estudio fue identificar especies arbóreas de interés forestal con capacidad de
fitorremediación en sitios contaminados por la minería en la comunidad el Capricho,
cantón Julio Arosemena Tola en base al potencial bioacumulador de metales pesados, para lo cual se realizó un muestreo de suelo y tejido foliar en cinco especies: Hieronyma asperifolia (motilón), Cordia alliodora (laurel), Otoba parviflora (doncel), Aniba riparia (canelo amarillo) y Himatanthus sucuuba (lechero) y se determinó la concentración de metales pesados (Zn, Fe, Cu y Pb) mediante espectrometría de absorción atómica. Los resultados demostraron que existen patrones de variación en cuanto a
la concentración de metales pesados en las hojas, el suelo y el factor de biococentración, sin embargo, todas las especies

Identificación de especies arbóreas de interés forestal con capacidad de fitorremediación para sitios contaminados por la minería, Amazonía ecuatoriana

Steffany Alejandra Erazo Vera[1]
sa.erazov@uea.edu.ec
Génesis Abigail Villarroel Vargas[1]
ga.villarroelv@uea.edu.ec
Dr. Yudel García Quintana[2]
ygarcía@uea.edu.ec

[1]Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Forestal

Resumen

En la actualidad son cada vez más importantes los estudios de especies fitorremediadoras en sitios contaminados por la minería debido a la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber y acumular compuestos contaminantes, además de ser una alternativa rentable y con un gran impacto ambiental. El objetivo del presente estudio fue identificar especies arbóreas de interés forestal con capacidad de fitorremediación en sitios contaminados por la minería en la comunidad el Capricho, cantón Julio Arosemena Tola en base al potencial bioacumulador de metales pesados, para lo cual se realizó un muestreo de suelo y tejido foliar en cinco especies: *Hieronyma asperifolia* (motilón), *Cordia alliodora* (laurel), *Otoba parviflora* (doncel), *Aniba riparia* (canelo amarillo) y *Himatanthus sucuuba* (lechero) y se determinó la concentración de metales pesados (Zn, Fe, Cu y Pb) mediante espectrometría de absorción atómica. Los resultados demostraron que existen patrones de variación en cuanto a la concentración de metales pesados en las hojas, el suelo y el factor de biococentración, sin embargo, todas las especies resultaron con capacidad para ser identificadas como fitorremediadoras en suelos contaminados por metales pesados. En base al análisis de componentes principales (ACP), se identificó que *Cordia alliodora* y *Otoba parviflora* presentaron mayor potencialidad para la fitorremediación en los sitios contaminados por la minería, con capacidad de acumular metales pesados: Pb, Zn y Cu foliar y Zn en el suelo y Cu, Fe y Pb foliar y Fe en el suelo, respectivamente. Esta información facilita su uso en los sitios de distribución natural donde existen explotaciones mineras en la Amazonía ecuatoriana, lo que implicaría la remediación de suelos contaminados por metales pesados.

Palabras claves: metales pesados, fitorremediación, minería, contaminación, bioacumulador.

Abstract

Nowadays, studies of phytoremediation species in sites contaminated by mining are becoming increasingly important due to the capacity of some plants to tolerate, absorb and accumulate contaminating compounds, in addition to being a profitable alternative with a great environmental impact. The objective of this study was to identify tree species of forest interest with phytoremediation capacity in sites contaminated by mining in the community of El Capricho, Canton Julio Arosemena Tola based on the bioaccumulative potential of heavy metals, for which a sampling of soil and leaf tissue was carried out in five species: *Hieronyma asperifolia* (motilon*), Cordia alliodora* (laurel), *Otoba parviflora* (doncel), *Aniba riparia* (canelo amarillo) and *Himatanthus sucuuba* (lechero) and the concentration of heavy metals (Zn, Fe, Cu and Pb) was determined by atomic absorption spectrometry. The results showed that there are patterns of variation in the concentration of heavy metals in leaves, soil and bioconcentration factor, however, all species were found to have the capacity to be identified as phytoremediators in soils contaminated by heavy metals. Based on the principal component analysis (PCA*), Cordia alliodora* and *Otoba parviflora* were identified as having the greatest potential for phytoremediation in sites contaminated by mining, with the capacity to accumulate heavy metals: Pb, Zn and Cu in leaves and Zn in soil and Cu, Fe and Pb in leaves and Fe in soil, respectively. This information facilitates its use in natural distribution sites where there are mining operations in the Ecuadorian Amazon, which would imply the remediation of soils contaminated by heavy metals.

Keywords: heavy metals, phytoremediation, mining, pollution, bioaccumulator.

Introducción

Los recursos naturales son elementos de suma importancia que hay que proteger y valorar ya que cubren las necesidades básicas del ser humano y la causa principal de su escasez a nivel mundial es la contaminación (Macías, 1996); citado en (Espinoza & Ronny, 2019). Existen distintas formas de contaminación que los perjudican, una de ellas es la minería. Las actividades efectuadas por la industria minera ocasionan efectos

perjudiciales para los componentes abióticos, bióticos, micro climáticos y geomorfológicos del ecosistema que obstaculizan el proceso de recuperación natural del suelo (Macías, 1996); citado en (Espinoza & Ronny, 2019).

La extracción de metales preciosos requiere del empleo de productos químicos y de grandes cantidades de agua en los pozos de extracción, dentro de estos pozos existen sustancias ligadas al tipo de suelo o mina que se combinan con los productos químicos, generando una gran cantidad de desechos tóxicos (Oviedo et al., 2017). La minería es una actividad muy compleja que acarrea ciertas consecuencias graves si no se realiza con responsabilidad (Jiménez & Balderas, 2019); citado en (AHOMED, 2019). Desde la apertura de vías de acceso hasta la extracción de metales preciosos como tal, se emplea generalmente uso de maquinaria pesada que destruye el componente suelo, al no contar con los cuidados, conocimiento, herramientas y maquinaria necesaria, provocando que los metales pesados no sean tratados y lleguen a tener contacto con el suelo y el agua, además de provocar daños a la salud de los trabajadores por el contacto directo (Jiménez & Balderas, 2019); citado en (AHOMED, 2019). Los metales pesados que son liberados dentro de la actividad minera son el cadmio, el plomo, zinc, cobre, mercurio (Portal del Gobierno de La Rioja, s/f).

La inminente contaminación provocada por las actividades mineras (subterráneas, a cielo abierto o aluvial), y sus consecuencias provocadas son evidentes y alarmantes, debido a la acumulación de metales pesados que ésta provoca (Jiménez & Balderas, 2019); citado en (AHOMED, 2019). Al afectarse directamente recursos como suelo, aire y agua traen consecuencias negativas para los animales, muchos de estos contienen metales pesados en su sistema sin presentar reacciones, lo cual mediante la cadena alimenticia puede llegar a afectar a los seres humanos, manifestándose en enfermedades de la piel, enfermedades gastrointestinales, y en los peores casos malformaciones (Bastidas et al., 2019); citado en (AHOMED, 2019). Además de ocasionar daños al medio ambiente, según Llano y Rojas (2022) la extracción minería es un factor detonante de procesos de desplazamiento forzado de poblaciones debido a la inseguridad y violencia que se genera.

El recurso vegetal brinda varios bienes y servicios de gran importancia para los seres humanos y animales, como, por ejemplo: hábitat, alimentación, materiales de construcción, medicinas, protección del suelo, conservación del agua, reciclaje de nutrientes, entre otros, los cuales permiten que su vida sea más digna (Becerril et al., 2007); citado en (Jara et al., 2014). Existen las denominadas plantas metalofitas, que han

desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos degradados por actividades mineras (Becerril et al., 2007); citado en (Jara et al., 2014). Estas especies pueden restringir la absorción los metales o translocarlos hacia las hojas o absorberlo y acumularlo activamente en su biomasa aérea (Baker & Proctor, 1990); citado en (Jara et al., 2014).

El uso de este tipo de especies está ligado a un método alternativo, llamada fitorremediación. La fitorremediación consiste en el uso de plantas para remediar *in situ* suelos, sedimentos, agua y aire contaminados por desechos orgánicos, nutrientes o metales pesados, eliminando los contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos (Jara et al., 2014).

La minería ilegal de oro es uno de los principales problemas que afecta el equilibrio de la Amazonía ecuatoriana, siendo necesario la técnica de fitorremediación como alternativa que permita disminuir el impacto negativo de la contaminación ambiental que se genera en estos sitios. Por lo que en este presente estudio se analizaron cinco especies de interés forestal con abundancia en la zona (*Hieronyma asperifolia, Cordia alliodora, Otoba parviflora, Aniba riparia, Himatanthus sucuuba*) con el fin de determinar la capacidad de fitorremediación en la comunidad el Capricho, Provincia de Napo, la cual ha sido intervenida por la minería, permitiendo de esta manera justificar el uso futuro de estas especies para la remediación de suelos contaminados por la minería en la Amazonía ecuatoriana en conformidad con su espectro de distribución natural.

Por ello el objetivo de esta investigación fue identificar especies arbóreas de interés forestal con capacidad de fitorremediación en sitios contaminados por la minería en la comunidad el Capricho, cantón Julio Arosemena Tola en base al potencial bioacumulador de metales pesados.

Metodología

Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo mediante una colecta de muestras foliares y de suelo de cinco especies de interés forestal, a orillas de un río ubicado en la comunidad el Capricho, en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo, Amazonía ecuatoriana (Figura 1).

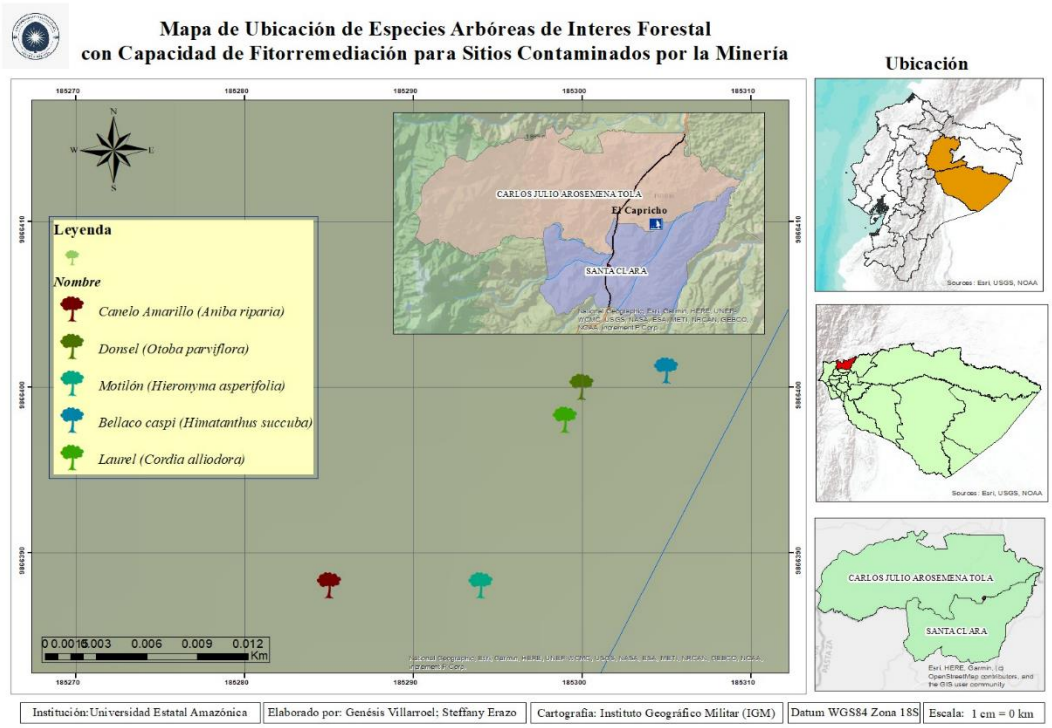

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de las especies arbóreas seleccionadas para fitorremediación de sitios contaminados por la minería.

Tipo de investigación

La presente investigación fue de alcance descriptivo y enfoque mixto, además utilizó un método analítico y herramientas tecnológicas para elaboración de gráficos y tablas.

Carlos Sabino define a la investigación descriptiva en su obra El proceso de investigación (1992) como "el tipo de investigación que tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utiliza criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes" (Martínez, 2018). Es por ello que esta investigación describe el comportamiento de la concentración de metales pesados analizados en las especies seleccionadas.

Además, utiliza un método analítico, que consiste en descomponer el todo en sus partes, con el único fin de observar la naturaleza y los efectos del fenómeno. Sin duda, este método puede explicar y comprender mejor el fenómeno de estudio, además de establecer nuevas teorías (Gómez, 2012).

Selección y muestreo de material vegetal y suelo

En el área estudiada se encontró una gran variedad de especies, de las cuales se seleccionó cinco de ellas en función de la abundancia e importancia ecológica, ubicadas a las orillas

del río del sector Simón Bolívar, el cual ha sido afectado por la contaminación producto de la extracción minera río arriba. Las muestras recolectadas fueron tomadas a partir de la identificación de las siguientes especies: *Hieronyma asperifolia* (motilón), *Cordia alliodora* (laurel), *Otoba parviflora* (doncel), *Aniba riparia* (canelo amarillo) y *Himatanthus sucuuba* (lechero). El reconocimiento de las especies se realizó mediante el apoyo de un técnico que labora en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), posteriormente se hizo la comprobación taxonómica de las especies mediante la utilización de recursos virtuales (Tropico.org), además de la literatura: Especies forestales más aprovechadas del sur del Ecuador (Aguirre et al, 2015) y el libro Árboles del Ecuador: Familias y Géneros (Palacios, 2016).

Se recolectó las muestras vegetales de la parte aérea de cada especie, tomando en cuenta el estado sanitario y su grado de madurez, además, que las hojas no debían presentar daños físicos, presencia de plagas o enfermedades, ya que esto alteraría los resultados (Hu et al., 2014). Posteriormente, se las colocó en fundas tipo ziploc con cierre hermético, se las etiquetó con su respectivo nombre y se las trasladó al laboratorio para realizar los análisis de presencia de los siguientes metales pesados: hierro (Fe), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn).

Para el caso de las muestras de suelo se las recolectó en tres puntos diferentes alrededor de cada especie, tomando en cuenta a partir de la misma un radio de 30 cm y a una profundidad de 30 cm de hoyado (Greska et al., 2019). Para almacenar las muestras en las fundas ziploc, estas debían estar exentas de raíces y hojarascas para poder realizar el análisis de metales pesados: hierro (Fe), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn).

Análisis de muestra de hojas y suelo

Para iniciar con el análisis de las muestras tanto vegetales como de suelo, se las colocó en la estufa durante 72 hrs, la cual cuenta con circulación forzada de aire a 60 °C para acelerar el proceso de secado. Una vez secas, se procedió a triturar las mismas haciendo uso de un mortero, obteniendo así partículas de menor tamaño.

Se procedió a pesar 0,5 g de muestra de cada especie, colocándolos en los vasos de digestión, los cuales estaban previamente enumerados, posterior a ello se llevó una por una cada muestra a la cámara extractora de gases y se adicionó 10 ml de ácido nítrico (HNO_3) al 65% en cada muestra y con la ayuda de una llave dinamométrica se cerró los vasos y se los trasladó al sistema de digestión por microondas, de manera que estos queden firmes y en la posición correcta.

El sistema de digestión por microondas es el mecanismo mediante el cual en un sistema

cerrado se consiguen por incidencia de las microondas altas temperaturas y presiones que en presencia de mezclas ácidas descomponen la materia orgánica a fracciones más simples, como iones, agua y gases remanentes (González, 2009). Una vez digeridas las muestras, se transportó una por una a la sorbona para abrirlas cuidadosamente debido a que el ácido nítrico aun emanaba gases, se transfirió la muestra a un vaso de precipitación donde se le agregó 10ml de ácido nítrico (HNO_3) al 65%, se traspasó la muestra a un matraz aforado de 50ml y se enrasó con una solución de ácido nítrico (HNO_3) al 10%, se tapó y agitó la muestra. Se dejo reposar las muestras y luego se las colocó en frascos plásticos etiquetados respectivamente, se llevaron al refrigerador para proceder con el siguiente paso.

Se filtró las muestras con el objetivo de retener las impurezas, hecho esto se procedió a determinar la presencia y cantidad de metales pesados con el empleo de un espectrómetro de absorción atómica, realizando tres replicas por cada muestra (R1, R2 y R3), el mismo que dio los siguientes resultados (Ver anexo 2).

Se calculó el factor de bioconcentración (FBC), mismo que denota la relación entre la acumulación del metal en el agua y en la biomasa de la planta (Yadav et al. 2018); citado en (Alderete., Valles., Canales., Peralta & Orrantia, 2019). Para el cálculo del FBC se utilizó la siguiente ecuación:

$$FBC = \frac{Cfollaje}{Csuelo}$$

Donde la letra C es igual a la concentración de un elemento en concentro. Los resultados obtenidos mediante este cálculo representan la cantidad de Fe, Zn, Cu y Pb que acumula cada especie.

Análisis de datos

Para el análisis de datos estadísticos de las muestras de suelo, foliar y el cálculo del factor de bioconcentración se utilizó el software Origin 2022. Se realizó un análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA) para la concentración de metales pesadoa a nivel foliar, suelo y el factor de bioconcentración (FB), con un nivel de significación del 95%, con el objetivo de encontrar diferencias significativas de los metales pesados analizados en las especies *C. alliodora* (laurel), *H. asperifolia* (motilón), *O. parviflora* (doncel), *A. riparia* (canelo amarillo), *H. sucuuba* (lechero.). Para encontrar relaciones entre los elementos analizados tanto de las muestras de suelo como de las hojas y el FB, se ingresaron los datos en una tabla de doble entrada conocida como la matriz de correlación de Pearson. Se empleó una técnica estadística multivariada (Análisis de clúster) para poder

clasificarlos a nivel de grupos a partir de un 50% de similitud como distancia de cohorte y así determinar que especies y metales tienen similitud y diferencias entre ellos. Como último método estadístico se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) con el fin de establecer cuantos componentes explican el comportamiento de la variabilidad de datos y cuáles son las especies y metales que se separan de otros grupos con mayor capacidad para la absorción de metales pesados y que puedan ser identificadas para la fitorremediación de suelos contaminados.

Resultados y discusión

Análisis de metales pesados (Fe, Zn, Cu y Pb), contenidas en las muestras foliares y de suelo.

En la Figura 2 se muestran los resultados de los gráficos mediante el (ANOVA), con un valor de *p=0,05*, donde se comprobó que existen diferencias significativas entre las cinco especies en cuanto a los elementos estudiados Fe, Zn, Cu y Pb en tejido foliar, mientras para el Zn la especie *C. alliodora* fue diferente al resto con valores superiores, *H. succuba* y *A. riparia* son similares y *O. parviflora* y *H. asperifolia* presentaron diferencias entre ellas.

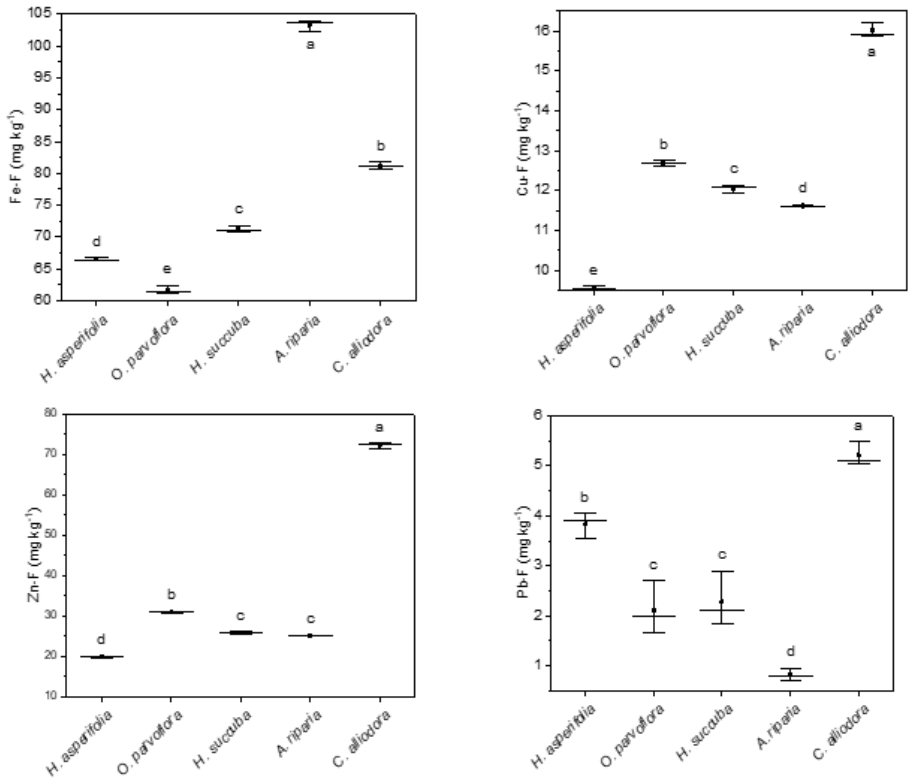

Figura 2. Resultados del análisis de varianza (ANOVA), con un valor de p = 0,05 de metales pesados Fe, Zn, Cu y Pb presente en las hojas de las especies H. asperifolia, O,

parviflora, C. alliodora, A. riparia y H. sucuuba (Letras desiguales indicaron diferencias significativas).

En la Figura 3 se observan las diferencias significativas en todas las especies en cuanto a la concentración de metales pesados presentes en las muestras de suelo, Fe, Zn, Cu y Pb. Las especies *O. parviflora, A. riparia* y *C. alliodora,* presentaron valores superiores en la concentración de (Fe-S > 1250 mg/kg), (Zn-S > 50 mg/kg), (Cu-S > 16 mg/kg) y (Pb-S >23 mg/kg) mientras que *H. asperifolia* y *H. sucuuba* obtuvieron valores menores (Fe-S < 500 mg/kg), (Zn-S < 10 mg/kg), (Cu-S < 5 mg/kg) y (Pb-S < 18 mg/kg).

Los resultados de los análisis de las muestras foliares y de suelo indicaron que las cinco especies analizadas presentaron capacidad para la acumulación de metales pesados, por lo que pueden ser identificadas para la fitorremediación en suelos contaminados por la minería, aunque *O. parviflora* y *C. alliodora* fueron las de mayor capacidad de absorción de Pb, Zn, Cu y Fe, por lo que sugiere su uso potencial para la fitorremediación en sitios contaminados por metales pesados producto de la explotación de minería ilegal que se presenta en el sector Simón Bolívar, comunidad El Capricho y en otras zonas de minería de la Amazonia ecuatoriana.

Los valores analizados de las concentraciones de Cu-F y Cu-S (2,8-24,8 mg/kg), en las especies estudiadas, indican que no alcanzan el rango de toxicidad permisibles en las normas de algunos países como: Canadá, Inglaterra, Austria, etc., en comparación con un estudio realizado en Colombia. Los datos indicaron concentraciones de cobre (59,8 – 1453,6 mg kg-1) que en el 88% de los casos superan los niveles máximos permisibles en las normas de Austria, Canadá, Polonia e Inglaterra, y en un 96% para la norma alemana. El Ministerio de Agricultura de Chile (2005) afirma que aún en las franjas metalogénicas ricas en cobre, el valor máximo de cobre en suelos es de 200 mg kg-1 (Martínez et al., 2017).

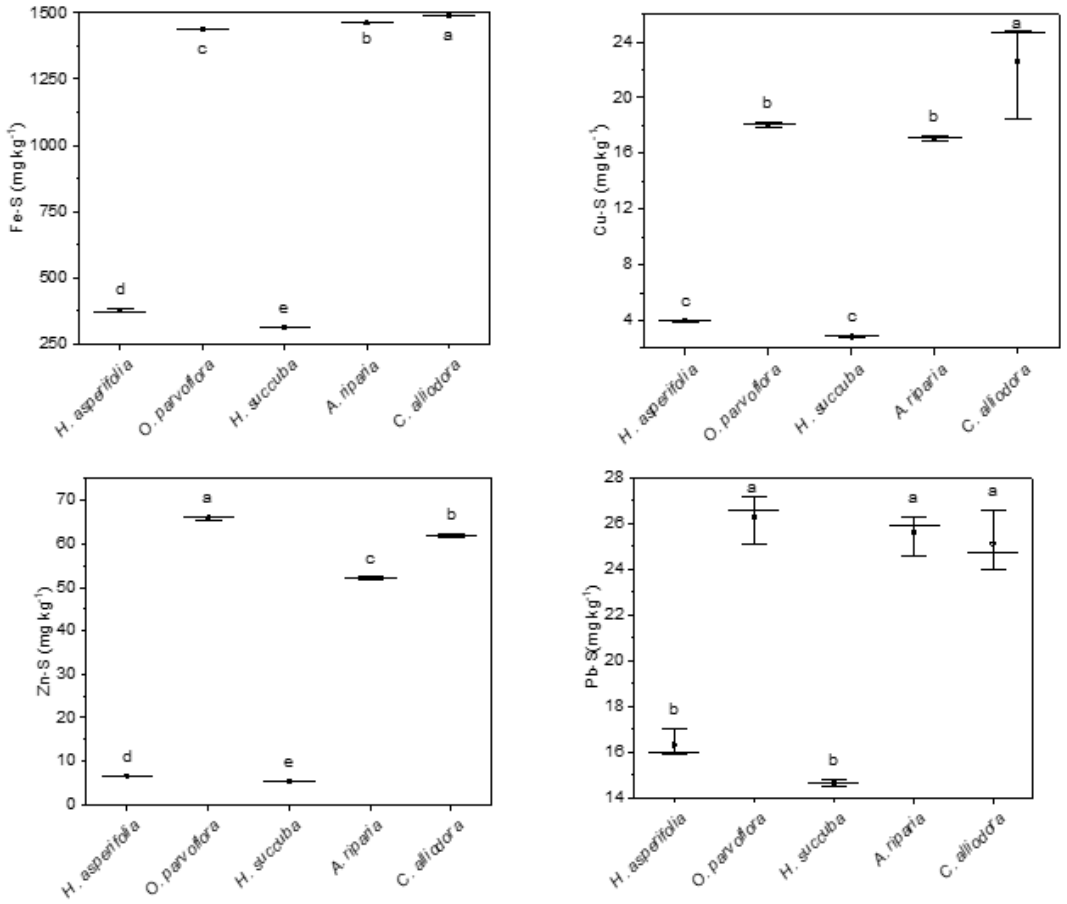

Figura 3. Resultados del análisis de varianza (ANOVA), con un valor de p = 0,05 de la concentración de metales pesados Fe, Zn, Cu y Pb presente en el suelo de las especies H. asperifolia, O, parviflora, C. alliodora, A. riparia y H. sucuuba (Letras desiguales indicaron diferencias significativas).

En la Figura 4, la especie que mostró mayor valor en el cálculo del factor de bioconcentración (FB) para metales pesados fue *H. sucuuba*, con mayor capacidad de absorción para el (Fe > 0,22 mg/kg), (Cu > 4 mg/kg) y (Zn > 4,5 mg/kg), mientras que *H. asperifolia* obtuvo una mayor capacidad de absorción para (Pb > 0,20 mg/kg). Los resultados del FB indicaron que las especies mencionadas anteriormente superaron los valores de 1 mg/kg en cuanto a la absorción de Cu y Zn, lo que sugiere que pueden ser reconocidas como plantas hiperacumulativas. El factor de bioconcentración, expresa el potencial de acumulación de elementos a partir del cociente entre los niveles de concentración de metales pesados en la planta y el suelo, indicando que cuanto mayor sea su FB más fuerte será la acumulación de los metales pesados en la planta (Wang et al., 2019). La característica de una planta hiperacumulativa es que su FB debe ser mayor a 1

mg/Kg para ser considerada como planta como bioacumuladores (Takarina & Pin, 2017).

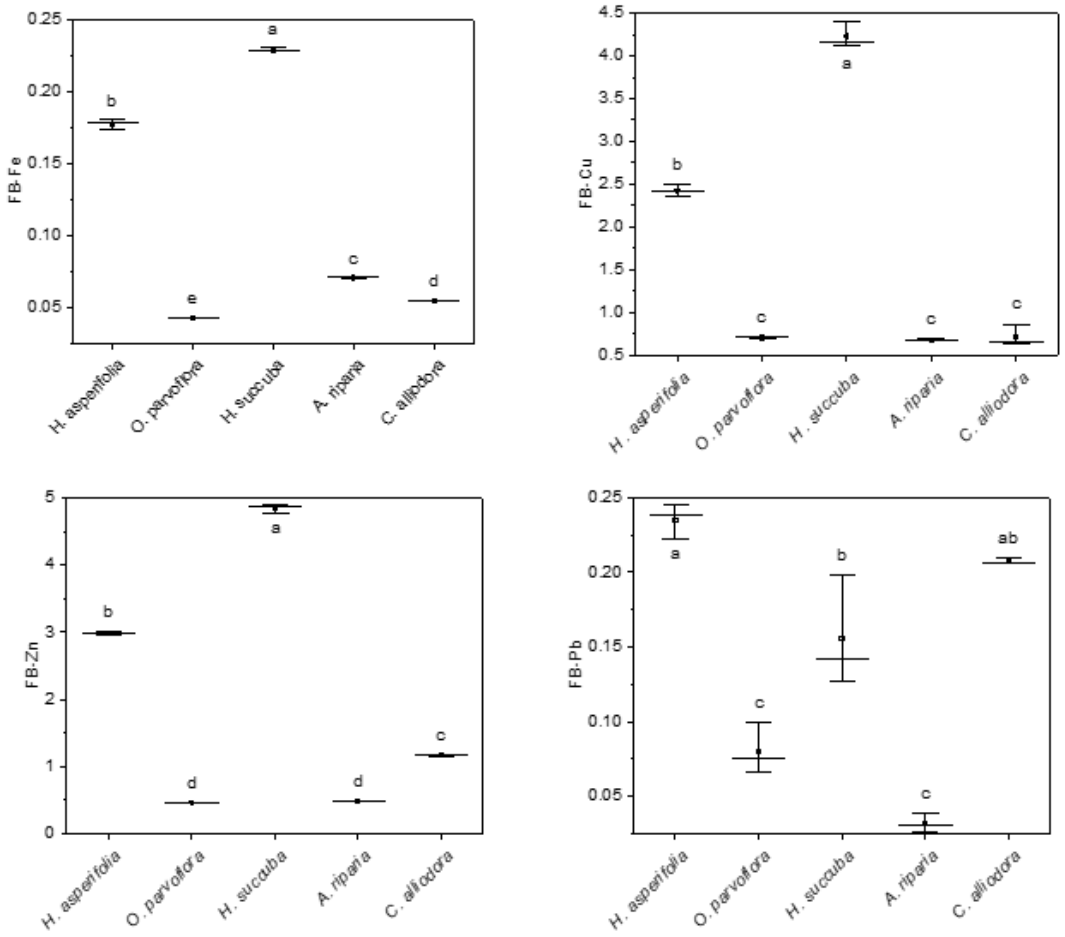

Figura 4. Resultados del análisis de varianza (ANOVA), con un valor de p = 0,05 en cuanto al factor de bioconcentración de metales pesados de las especies H. asperifolia, O, parviflora, C. alliodora, A. riparia y H. sucuuba (Letras desiguales indicaron diferencias significativas).

Para encontrar relaciones entre los elementos analizados tanto de las muestras de suelo como de las hojas, se ingresaron los datos en una tabla de doble entrada conocida como la matriz de correlación de Pearson. Donde se puede observar valores cercanos a 1 y –1, los colores rojos más fuertes indicaron una correlación alta y los colores más bajos una correlación débil en sentido positivo, al igual para los colores azules con la diferencia de que la correlación va en sentido negativo.

Dentro de las correlaciones positivas altas se encontró entre Zn-F y Cu-F (r=0.94) y/o entre Pb-S y Zn-S (r=0.97) y para las correlaciones negativas o inversas débiles, entre Pb-F y Fe-F (r=-0.34).

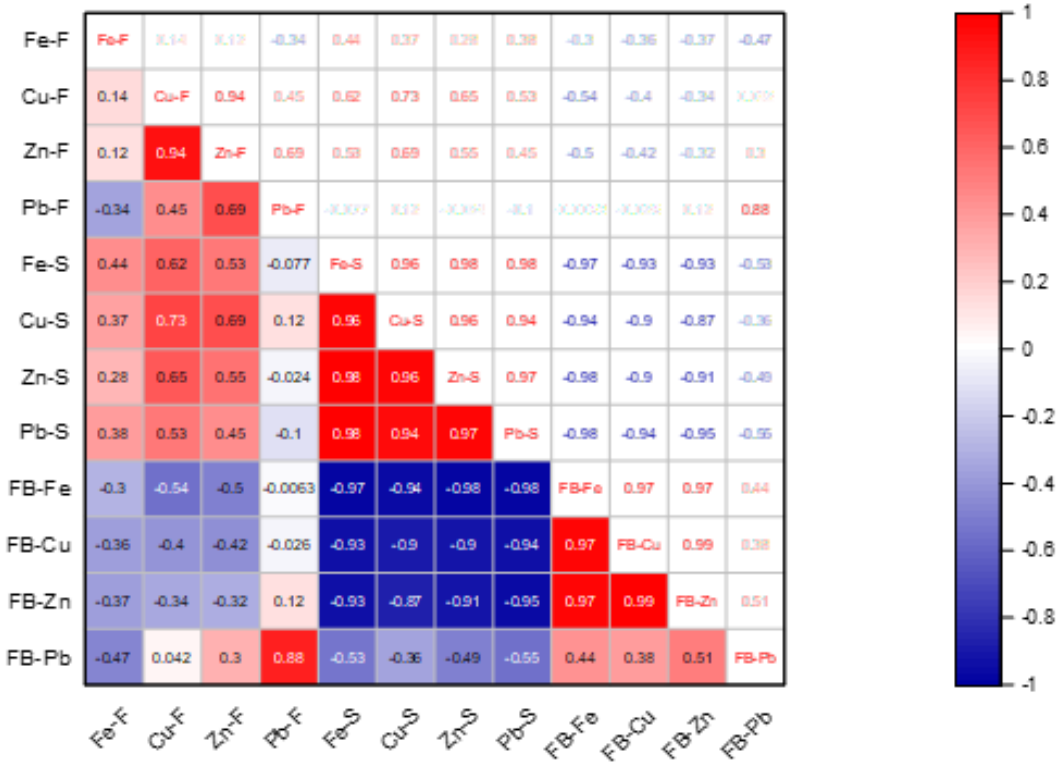

Figura 5. Matriz de correlación de Pearson de la concentración de metales pesados en hojas, suelo y factor de bioconcentración

Se empleó una técnica estadística (Análisis de clúster) para poder clasificarlos a nivel de grupos a partir de un 50% de similitud como distancia de corte, por lo tanto, se puede observar tres grupos diferentes representados por colores como el fucsia, el azul y el rojo. El primer grupo estuvo conformado por el Fe en *A. riparia*. El segundo grupo por el Fe y el Zn en *C. alliodora*, junto con el Fe en *H. sucuuba*, Fe en *O. parviflora* y Fe en *H. asperifolia*. El tercer grupo lo conformaron el Zn en *A. riparia, H. sucuuba, O. parviflora,* y *H. asperifolia,* el Pb en *C. alliodora, A. riparia, H. sucuuba, O. parviflora, H. asperifolia*, y el Cu en *C. alliodora, A. riparia, H. sucuuba, O. parviflora* y *H. asperifolia* (Figura 6). Estos resultados aportan información valiosa para poder identificar las especies seleccionadas como fitorremediadoras en función de la capacidad que tienen para acumular metales pesados.

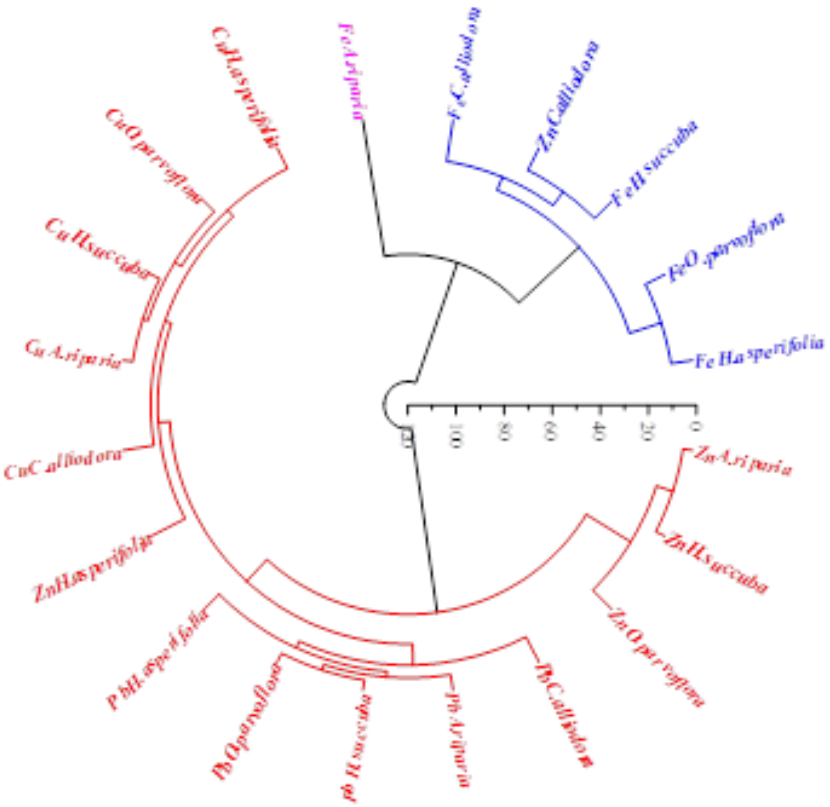

Figura 6. Análisis de clúster a partir de la concentración de metales pesados y clasificación en grupos de las especies estudiadas.

El análisis de componentes principales indicó la formación de dos componentes. En el eje de coordenadas se puede visualizar que el primer componente (PC 1) representa un 67,49% de la varianza total de los datos, mientras que el segundo (PC 2) corresponde al 20,31%.

El sistema de coordenadas, determinado por los dos componentes principales, permitió visualizar que el eje PC1 separa a la especie *C. alliodora* y la mantiene en el lado positivo, siendo esta especie capaz de acumular metales como Pb, Zn y Cu en su follaje y Zn en el suelo. El eje PC2 separa a las especies *A. riparia y O. parviflora,* ambas se encuentran en el lado negativo del eje y los metales a los cuales se asociaron fueron Fe en sus follajes y Cu, Pb y Fe en el suelo. Por otro lado, en el extremo negativo del PC1 se puede visualizar que las especies *H. succuba* y *H. asperifolia* resultaron con mayor afinidad en cuanto al factor de bioconcentración, debido a su rol como especies hiperacumuladoras. Estos resultados permitieron identificar la capacidad de las especies en cuanto a la acumulación de metales pesados, lo que implica su uso potencial para la fitorremediación de suelos

contaminados por metales pesados en zonas de minería de la Amazonía ecuatoriana (Figura 7).

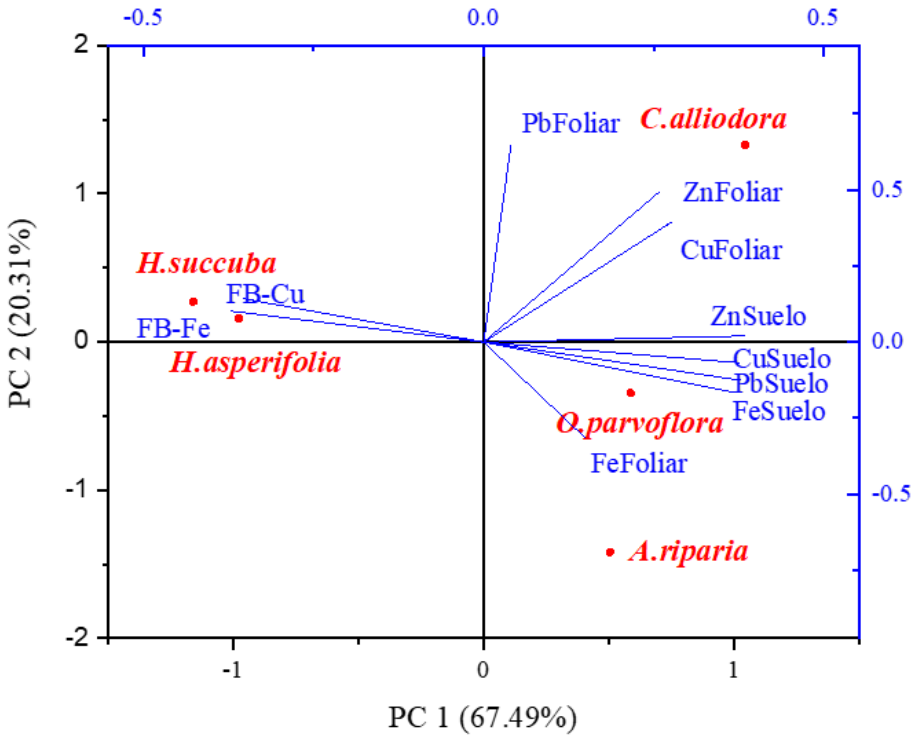

Figura 7. Resultados del análisis de componentes principales (ACP) en relación a la concentración de metales pesados en el tejido foliar, suelo y el factor de bioconcentración de las especies de interés forestal.

Actualmente, no existe la suficiente información o estudios que mencionen la capacidad de absorción de metales pesados de las especies: *H. asperifolia, C. alliodora, O. parviflora, A. riparia, H. sucuuba,* tomándolas en cuenta como especies fitorremediadoras para disminuir el efecto de la contaminación por metales pesados, si bien es cierto se ha reportado el uso de especies como el maíz en Perú. La planta nativa del maíz *"Zea mays L"* resulto eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados por Plomo y Cadmio en la minería (Chinchay y Chamorro, 2020). Por ende, la fitorremediación con esta la planta nativa resulta una alternativa sostenible, ya que contribuye a disminuir el gran problema de la contaminación de los suelos por metales de (Plomo y Cadmio) ocasionados por la actividad minera (Chinchay y Chamorro, 2020). Y también el uso de girasoles en el mismo país, Gallardo (2019) menciona que "como se ha mostrado la especie *Helianthus annuus* posee características que permiten su uso eficiente en el proceso de fitorremediación, disminuyendo la dispersión de los metales pesados gracias a sus propiedades de bioacumulación".

La recuperación de suelos contaminados con metales pesados recurre al uso de plantas con capacidad para la acumulación de metales pesados, que pueden utilizarse en los procesos de fitorremediación para recuperar sedimentos y aguas contaminadas por metales pesados, eliminando los contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos (Salt et al. 1998). Esto corrobora los resultados obtenidos de esta investigación donde se demostró la capacidad de las especies para la fitorremediación de los suelos contaminados por las prácticas de extracción minera.

Conclusiones

Las especies *H. asperifolia, C. alliodora, O. parviflora, A. riparia, H. sucuuba,* mostraron capacidad de absorción de metales pesados (Zn, Cu, Pb y Fe) a nivel foliar y del suelo, por lo que pueden ser identificadas con fines de fitorremediación en áreas contaminadas por la minería en la Amazonía ecuatoriana.

La matriz de correlación de Pearson indicó que existe una mayor correlación positiva que negativa entre los elementos analizados, siendo los valores obtenidos para *r* en su mayoría ≥ 0.45, comprobando que existe baja relación entre los elementos del suelo y la planta, lo que indicó que puede estar determinado por la capacidad de bioacumulación de cada especie y su propia fisiología.

En base al análisis de componentes principales (ACP) las especies *C. alliodora* y *O. parviflora* presentaron un mejor comportamiento en relación con la capacidad de acumular metales pesados: Pb, Zn y Cu a nivel foliar y del Zn en el suelo y Cu, Pb y Fe a nivel foliar y Fe en el suelo, respectivamente. Estos resultados demostraron la potencialidad de las especies para la fitorremediación en suelos contaminados por la minería.

Referencias bibliográficas

AHOMED, G. Q. S. (2019). Propuesta de Fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de Helianthus annuus L en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador. TESINA (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR).

Alderete-Suárez, B. M., Valles-Aragón, M. C., Canales-Reyes, S., del Rosario Peralta-Pérez, M., & Orrantia-Borunda, E. (2019). Bioconcentración de Pb, Cd y As en biomasa de Eleocharis macrostachya (Cyperaceae). Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 35, 93-101.

Chinchay Inga, M., & Chamorro Ricaldi, K. I. (2020). Fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maiz “Zea

mays. L" en la minería. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3195/Mileny_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Espinoza, A., & Ronny, V. (2019). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de dspace.espoch.edu.ec: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10578/1/236T0422.pdf

Gallardo, S. (2019). Propuesta de Fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de Helianthus annuus L en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador. TESINA (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR). http://181.198.35.98/Archivos/GALLARDO%20QUINTEROS%20AHOMED%20SANTIAGO.pdf

Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). RECIMUNDO, 4(3), 163-173. https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173

Gómez Bastar, S. (2012). Metodología de la investigación (1a.

González, E. (2009). MÉTODO GENERAL POR MICROONDAS DE DIGESTIÓN ÁCIDA EN MATRICES AMBIENTALES. https://www.ciiemad.ipn.mx/assets/files/ciiemad/docs/sgc/procedimientos/IPN_AC-06-00.pdf

Greksa, A., Ljevnaić-Mašić, B., Grabić, J., Benka, P., Radonić, V., Blagojević, B., & Sekulić, M. (2019b). Potential of urban trees for mitigating heavy metal pollution in the city of Novi Sad, Serbia. Environmental Monitoring and Assessment, 191(10). https://doi.org/10.1007/s10661-019-7791-7

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

Jara-Peña, Enoc, Gómez, José, Montoya, Haydeé, Chanco, Magda, Mariano, Mauro & Cano, Noema. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Revista Peruana de Biología, 21 (2), 145-154. https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817

JARA-PENA, Enoc et al. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Rev. peru biol. [online]. 2014, vol.21, n.2, pp.145-154. ISSN 1727-9933. http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817.

Martínez, C. (24 de enero de 2018). Investigación descriptiva: definición, tipos y características. Obtenido de https://www.lifeder.com/investigacion-descriptiva

Martínez, Z., González, M. S., Paternina, J., & Cantero, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Colombia. Temas Agrarios, 22(2), 2017. https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.941

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.

Portal del Gobierno de La Rioja. (s/f). Larioja.org. Recuperado el 2 de marzo de 2023, de https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/calidad-aire-cambio-climatico/calidad-aire/red-biomonitarizacion-metales-pesados-rioja/salud-metales-pesados

Rojas, L. y. (2022). ¿Es la actividad minera una causante del desplazamiento interno forzado en México? Heinrich-Böll-Stiftung. https://mx.boell.org/es/2022/04/07/es-la-actividad-minera-una-causante-del-desplazamiento-interno-forzado-en-mexico

Salt D.E., R.D. Smith & Y. Raskin.1998. Phytoremediation, En: Annu. Rev. plant. Physiol. Plant. Mol Biol., 49: 643- 668. http:// dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643

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

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(February), 159-166. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.02.005

ANEXO 1

Marco teórico

La contaminación es la introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias de esos ambientes, por un tiempo y en condiciones tales que interfieren con la salud de las personas, dañan los recursos naturales, alteran el equilibrio ecológico del área involucrada y aún el clima. Ocurre cuando se excede la capacidad de la Naturaleza para degradar y reincorporar estas sustancias o elementos a los ciclos de transformación de la materia y la energía (Herrmann & Zappettini, 2014).

La contaminación antropogénica, también denominada artificial, es aquella derivada de la actividad humana. En su mayor parte se relaciona con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón). Se genera: en la industria (minera, siderometalúrgica, química, papeleras) (Herrmann & Zappettini, 2014). Por ende, contaminante no es un elemento químico, sustancia o mineral determinado, sino una concentración de ellos superior al límite a partir del cual puede constituir un riesgo para la salud. (Herrmann & Zappettini, 2014).

Los riesgos derivados de la actividad minera están relacionados con la generación de acidez que, si bien puede ser natural, es fuertemente incrementado en magnitud y velocidad por la explotación minera de menas que contienen sulfuros, b) el uso de compuestos químicos en los procesos de separación y concentración de minerales y metales, y c) la generación de polvo (Herrmann & Zappettini, 2014).

La toxicidad de un elemento o compuesto químico es su capacidad para afectar adversamente cualquier función biológica (Herrmann & Zappettini, 2014), siendo el caso del metal pesado, que es un elemento químico perteneciente al grupo de 1os metales o de

los semi-metales (metaloides) y que en concentraciones elevadas en e1 ambiente, puede generar efectos adversos en los ecosistemas (Diaz, 2015). Se encuentran en forma natural en la corteza terrestre; sin embargo, cuando se liberan en el ambiente por las actividades humanas pueden llegar a convertirse en contaminantes en el aire, agua superficial, subterránea, otros ambientes acuáticos y suelo (Reyes et al., 2012).

En sitios cercanos a minas y fundiciones de metales es común encontrar extensas áreas contaminadas con diversos elementos ecotóxicos, tales como: cobre, cadmio, plomo, arsénico y otros (González et al., 2008). El plomo (del latín plumbum) se denomina con el símbolo Pb, es un metal gris, blando y maleable, presente de forma natural en la corteza terrestre (Azcona et al., 2015).

Entre las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, metalurgia y en algunos países el uso persistente de pinturas, gasolinas y aditivos. Este metal también se utiliza en muchos otros productos de uso cotidiano (Azcona et al., 2015). Por ello existen diferentes técnicas o actividades que logran disminuir la afectación de los metales en el medio ambiente, una de ellas es la fitorremediación.

La fitorremediación es una técnica biotecnológica utilizada para tratar suelos y aguas contaminadas mediante la adsorción o degradación de contaminantes (López y Morales, 2022). La biodisponibilidad es la proporción del total de metales geodisponibles en un sitio que pueden incorporarse a la biota del lugar. Por ejemplo, las plantas pueden absorber metales pesados a partir del suelo, siempre que estén en formas solubles o asociados a sus nutrientes (Herrmann & Zappettini, 2014) disminuyendo los metales presentes y las concentraciones en el suelo (Prieto et al., 2009); citado en (López y Morales, 2022). Según Prieto et al., (2009) estas respuestas fisiológicas se clasifican en excluyentes, indicadoras y acumuladoras. Las plantas excluyentes presentan menor acumulación de metales en la parte aérea de la planta en comparación a las concentraciones del suelo; las plantas indicadoras muestran una relación lineal de concentraciones del metal en la parte aérea y en el suelo; y las plantas acumuladoras presentan una mayor acumulación en la parte aérea en concentraciones superiores a las presentes en el suelo (López y Morales, 2022).

La bioacumulación es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos, por el que éstos alcanzan concentraciones más elevadas que las del medio ambiente o los alimentos. Las sustancias propensas a la bioacumulación alcanzan concentraciones crecientes a medida que se avanza en el nivel trófico en la cadena alimenticia (Herrmann & Zappettini, 2014).

Principales características de las especies identificadas en el estudio

Hieronyma asperifolia (motilón)

Árboles de hasta 20 m de altura, dioicos con indumento lepidoto. Hojas enteras, pinnatinervias, coriáceas, con nervaduras arqueadas hacia el margen, presencia de estípulas. Flores masculinas con cáliz campanulado con 5 lóbulos; glándulas del disco libres, opuestas a los lóbulos y alternado con 5 estambres, filamentos libres, exertos del perianto; anteras ditecas con dehiscencia con poros basales, conectivo ancho. Flores femeninas con cáliz similar a las masculinas, glándulas del disco inconspicuas; ovario bilocular, estilo cortísimo, bífido. Fruto una drupa; una semilla (Vásquez, 1997; Aguirre et al., 2015). Madera usada para encofrados y elaboración de ventas y puertas.

Cordia alliodora (laurel)

El laurel muestra efectos restauradores como la conservación de suelo debido a la cobertura de follaje, el control de la erosión mejora la fertilidad del suelo, provisión de sombra y refugio para el ganado y sombra a cultivos perennes (café, cacao), entre otros (Cedeño, 2020).

Otoba parviflora (doncel)

El Doncel perteneciente a la familia Myristicaceae, en Ecuador es una especie que se desarrolla de muy buena manera en la provincia de Napo y es una especie muy apetecida por sus características físicas de crecimiento y diversos usos (López et al., 2014).

Son árboles medianos a grandes, con diámetro de hasta 60 cm y altura comercial de hasta 25 metros, copa redonda, ramificación monopódica verticilada, muy característico en esta especie cuando son “tiernos”, simpódica en árboles maduros, la base de la copa muestra un color pardo visto desde el suelo por la pubescencia que cubre el envés de las hojas (López et al., 2014). Fustes rectos, cilíndricos, corteza externa café cobrizo e interna de color rosa, exudan látex rojizo.

A nivel productivo, se recomienda incluir esta especie en los programas de reforestación sean comercial o para protección, por ser una especie de crecimiento medio, pero en su estado de aprovechamiento obtendremos madera de calidad y buen precio, además de los beneficios ecológicos que nos proporcionaría (López et al., 2014).

*Aniba riparia (*canelo amarillo)

Árbol de 15 m de altura, hasta 80 cm de DAP. Fuste lenticelado, recto y cilíndrico. Corteza externa color café claro y la interna color café caro, con frecuencia se oxida al provocar una herida. Hojas simples, alternas o agrupadas en los ápices de las ramitas, ápice muy agudo a veces termina en una verdadera lanza, haz verde brillante, envés

generalmente amarillento. Flores bisexuales pequeñas color verde-amarillentas. Fruto drupa con cúpula verrucosa. La madera de esta especie en general tiene un olor característico a canela alcanforada (Vásquez, 1997; Gentry, 1993; Aguirre et al., 2015). Madera usada principalmente para la elaboración de muebles.

Himatanthus sucuuba (lechero)

Árboles de hasta 20 m de altura. Látex blanco. Extremos de las ramitas espesos, huecos, escamosos. Hojas alternas, pero reunidas en ramilletes apretados en el extremo de las ramitas, lámina de 13-25 cm de largo por 8-15 cm de ancho, obovado o anchamente obovado, coriáceo, glabro. Flores blancas. Folículos en pares, leñoso, de 25-30 cm de largo, pardo oscuro en la madurez. Semillas numerosas, aladas (Spichiger et al., 19891; Flores, 2014). Uso medicinal, usando el látex y la corteza, para tratar dolores reumáticos, gastritis, abscesos, dolores reumales, etc.

Referencias bibliográficas

Herrmann C. yZappettini E.O., 2014. Recursos Minerales, Minería y Medio Ambiente. Serie Publ icaciones Nº 173. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, 68p. BuenosAires.

Diaz Pérez, R. G. (2015). Evaluación del abatimiento de metales pesados en residuos industriales líquidos y sólidos usado lodo rojo modificado.

Reyes Navarrete, M. G., Alvarado De La Peña, A. I., Antuna, D. M., García Vargas, A., González Valdez, L. S., & Vázquez Alarcón, E. D. C. (2012). Metales pesados: importancia y análisis.

Azcona-Cruz, M. I., Ramírez, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. Revista de especialidades médico-quirúrgicas, 20(1), 72-77.

González, I., Muena, V., Cisternas, M., & Neaman, A. (2008). Acumulación de cobre en una comunidad vegetal afectada por contaminación minera en el valle de Puchuncaví, Chile central. Revista chilena de historia natural, 81(2), 279-291.

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, R., Neill, D., Torres, B., & Guerra, D. (2014). El Doncel (Otoba parvifolia) en Napo Napumanta wapa yura (Otoba parvifolia).

Aguirre, Z., Ángel, M., Chalán, F. L., Solano, C., Nikolay, A., & Mendoza, A. (2015). *Especies forestales más aprovechadas en la región sur del Ecuador*. EDILOJA. https://nikolayaguirre.files.wordpress.com/2011/12/lb-especies-forestales-sur-ecuador-2015.pdf

CEDEÑO PINCAY, E. E. (2020). ESTIMACIÓN LAS CONDICIONES ÓPTIMAS PARA LA SUPERVIVENCIA DE LA ESPECIE NATIVA LAUREL (Cordia alliodora), EN PLANTACIONES DEL CANTÓN 24 DE MAYO (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).

Flores, Y. (2014). Especies forestales nativas para la recuperación de áreas degradadas en la Región Ucayali.

ANEXO 2

NOMBRE CIENTIFICO	Especie	Replicas	Fe suelo	Cu suelo	Zn suelo	Pb suelo
Hieronyma asperifolia	Motilón	R1	380.80	3.95	6.65	17.00
Hieronyma asperifolia	Motilón	R2	371.75	4.05	6.55	15.90
Hieronyma asperifolia	Motilón	R3	369.80	3.85	6.65	16.00
Otoba parviflora	Doncel	R1	1438.50	17.85	65.45	27.20
Otoba parviflora	Doncel	R2	1438.50	18.10	66.20	25.10
Otoba parviflora	Doncel	R3	1440.50	18.25	66.25	26.60
Himatanthus sucuuba	Bellaco caspi	R1	310.85	2.90	5.30	14.50
Himatanthus sucuuba	Bellaco caspi	R2	311.40	2.75	5.30	14.80
Himatanthus sucuuba	Bellaco caspi	R3	311.25	2.90	5.30	14.60
Aniba riparia	Canelo	R1	1461.00	16.90	51.90	25.90
Aniba riparia	Canelo	R2	1462.00	17.30	52.20	24.60
Aniba riparia	Canelo	R3	1463.50	17.10	52.35	26.30
Cordia alliodora	Laurel	R1	1491.00	18.45	61.85	24.00
Cordia alliodora	Laurel	R2	1490.50	24.65	61.65	26.60
Cordia alliodora	Laurel	R3	1489.00	24.75	62.45	24.70

Tabla 1 Resultados de la concentración de metales pesados en hojas (mg/kg)

NOMBRE CIENTIFICO	Especie	Replicas	Fe foliar	Cu foliar	Zn foliar	Pb foliar
Hieronyma asperifolia	Motilón	R1	66.29	9.55	19.60	4.05
Hieronyma asperifolia	Motilón	R2	66.39	9.55	19.75	3.90
Hieronyma asperifolia	Motilón	R3	66.74	9.60	19.90	3.55
Otoba parvoflora	Doncel	R1	61.40	12.70	30.60	2.70
Otoba parvoflora	Doncel	R2	61.25	12.75	30.85	1.65
Otoba parvoflora	Doncel	R3	62.30	12.60	31.15	2.00
Himatanthus sucuuba	Bellaco caspi	R1	70.89	12.08	25.31	1.85
Himatanthus sucuuba	Bellaco caspi	R2	71.79	12.13	25.86	2.10
Himatanthus sucuuba	Bellaco caspi	R3	71.14	11.93	26.01	2.90
Aniba riparia	Canelo	R1	102.23	11.60	25.09	0.80
Aniba riparia	Canelo	R2	103.98	11.60	25.19	0.95
Aniba riparia	Canelo	R3	103.73	11.65	25.04	0.70
Cordia alliodora	Laurel	R1	81.09	15.93	71.45	5.04
Cordia alliodora	Laurel	R2	81.74	15.88	72.65	5.49
Cordia alliodora	Laurel	R3	80.74	16.23	72.80	5.09

Tabla 2 Resultados de la cantidad de absorción de metales pesados en el suelo (mg/kg)