UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana: Estudio de caso comunidad El Capricho”

AUTOR(ES):

Bryam Xavier González Vargas

Joe Adrian Haro Llerena

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:

“Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana: Estudio de caso comunidad El Capricho”

AUTOR(ES):

Bryam Xavier González Vargas

Joe Adrian Haro Llerena

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Yudel García Quintana PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

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	
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	
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	
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	
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.	15/15	

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.	25/25	
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	
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	
VALORACIÓN TOTAL	**100**	

DICTAMEN

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

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

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
YOEL RODRIGUEZ GUERRA

Dr. Yoel Rodríguez Guerra

Dado en la ciudad de Puyo**, a los 8 días del mes de marzo de 2023**

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	Si cumple con los parámetros establecidos
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	Si cumple con los parámetros establecidos
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.	18/20	Si Cumple con el 90% de lo establecido
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	13/15	Este apartado cumple el 90%, sin embargo, las tablas no cumplen lo establecido en la plantilla para la elaboración del artículo, existe algunas citas referencias de forma diferente en el mismo texto.
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.	14/15	En este apartado existen algunas inconsistencias en cuanto a la numeración de figuras existe figura 1 y 2 y su descripción esta sin cursiva a diferencia de los resultados

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	Si cumple, sin embargo, es necesario mejorar la discusión con los datos obtenidos
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	9/10	Si cumple, se podía mejorar estas en función de los resultados (Una por cada resultado dado).
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	3/5	Cumple parcialmente con lo establecido por las normas APA existe varias citas con anomalías que se visualizan de manera general, considerando que se mantiene una plantilla y una guía para evaluar el normal desarrollo del artículo.
VALORACIÓN TOTAL	91/100	El trabajo cumple un 90% los cambios sugeridos

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	91/100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
PAUL ALONSO SALINAS JUMBO

Paúl Alonso Salinas Jumbo

Dado en la ciudad de Pangui, a los 08 días del mes de marzo de 2023

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

Puyo, 01-03-2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Bryam Xavier González Vargas, con C.I. 1600746968, con el Tema: "Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana: Estudio de caso comunidad El Capricho", 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 1%, Informe generado con fecha 01-03-2023 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

Document Information

Analyzed document	Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana-BRYAN Y HARO.docx (D159844413)
Submitted	2023-03-02 03:37:00
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

EVALUACIÓN IN VITRO DE LA CAPACIDAD DE MANÍ FORRAJERO (Arachis Pintoi W.C) Y GUARUMO (Cecropia Peltata L.) EN L A BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO.pdf
Document EVALUACIÓN IN VITRO DE LA CAPACIDAD DE MANÍ FORRAJERO (Arachis Pintoi W.C) Y GUARUMO (Cecropia Peltata L.) EN L A BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO.pdf (D29422933)
1

Entire Document

“Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana: Estudio de caso comunidad El Capricho” Resumen En la actualidad, el desarrollo de la economía, la explotación y utilización de los recursos minerales ha aumentado la contaminación del suelo, provocando efectos negativos al ecosistema.
El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados en seis especies
de interés forestal con fines de fitorremediación en áreas contaminadas por la minería a las orillas del río Pinyoyacu, comunidad El Capricho. Se determinó la bioconcentración de cuatro metales, hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) a nivel foliar y suelo, mediante Espectrómetro de Absorción Atómica. Los resultados de la concentración de metales pesados a nivel foliar, en el suelo y el factor de bioconcentración indicaron que Cecropia peltata L (Guarumo) es la especie con mayor potencial acumulador (1,95 mgkg) en Zn, Fe y Pb. El resto de las especies (Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb con 1,43 mgkg en (Zn), Pourouma cecropiifolia Mart con 0,93 mgkg en (Cu), Tabebuia chrysantha (Jacq.) G. Nicholson con 1,05 mgkg en (Zn), Trichantera gigantea (Bonpl.) Nees con 1,43 mgkg en (Zn) y Vochysia leguiana J.F. Macbr con 1,25 mgkg en (Cu). Estos resultados permitieron proponer a C. peltata como especie fitorremediadora para áreas contaminadas por la minería en la comunidad El Capricho, lo cual puede ofrecer una alternativa productiva a las comunidades rurales de las zonas contaminadas, combinando con cualquiera de las otras

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

Puyo, 01-03-2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Joe Adrian Haro Llerena, con C.I. 1600634511, con el Tema: "Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana:Estudio de caso comunidad El Capricho", 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 1%, Informe generado con fecha 01-03-2023 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

Document Information

Analyzed document	Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana-BRYAN Y HARO.docx (D159844413)
Submitted	2023-03-02 03:37:00
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

EVALUACIÓN IN VITRO DE LA CAPACIDAD DE MANÍ FORRAJERO (Arachis Pintoi W.C) Y GUARUMO (Cecropia Peltata L.) EN L A BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO.pdf
Document EVALUACIÓN IN VITRO DE LA CAPACIDAD DE MANÍ FORRAJERO (Arachis Pintoi W.C) Y GUARUMO (Cecropia Peltata L.) EN L A BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO.pdf (D29422933)
1

Entire Document

“Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana: Estudio de caso comunidad El Capricho” Resumen En la actualidad, el desarrollo de la economía, la explotación y utilización de los recursos minerales ha aumentado la contaminación del suelo, provocando efectos negativos al ecosistema.
El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados en seis especies
de interés forestal con fines de fitorremediación en áreas contaminadas por la minería a las orillas del río Pinyoyacu, comunidad El Capricho. Se determinó la bioconcentración de cuatro metales, hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) a nivel foliar y suelo, mediante Espectrómetro de Absorción Atómica. Los resultados de la concentración de metales pesados a nivel foliar, en el suelo y el factor de bioconcentración indicaron que Cecropia peltata L (Guarumo) es la especie con mayor potencial acumulador (1,95 mgkg) en Zn, Fe y Pb. El resto de las especies (Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb con 1,43 mgkg en (Zn), Pourouma cecropiifolia Mart con 0,93 mgkg en (Cu), Tabebuia chrysantha (Jacq.) G. Nicholson con 1,05 mgkg en (Zn), Trichantera gigantea (Bonpl.) Nees con 1,43 mgkg en (Zn) y Vochysia leguiana J.F. Macbr con 1,25 mgkg en (Cu). Estos resultados permitieron proponer a C. peltata como especie fitorremediadora para áreas contaminadas por la minería en la comunidad El Capricho, lo cual puede ofrecer una alternativa productiva a las comunidades rurales de las zonas contaminadas, combinando con cualquiera de las otras

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
Trabajo de integración curricular

"Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana: Estudio de caso comunidad El Capricho"

Bryam Xavier González Vargas [1]
bx.gonzalezv@uea.edu.ec
Joe Adrian Haro Llerena [1]
ja.harol@uea.edu.ec
García Quintana Yudel [2]
ygarcia@uea.edu.ec
[1] Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la tierra, Carrera de Ingeniería Forestal

Resumen

En la actualidad, el desarrollo de la economía, la explotación y utilización de los recursos minerales ha aumentado la contaminación del suelo, provocando efectos negativos al ecosistema. El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados en seis especies de interés forestal con fines de fitorremediación en áreas contaminadas por la minería a las orillas del río Pinyoyacu, comunidad El Capricho. Se determinó la bioconcentración de cuatro metales, hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) a nivel foliar y suelo, mediante Espectrómetro de Absorción Atómica. Los resultados de la concentración de metales pesados a nivel foliar, en el suelo y el factor de bioconcentración indicaron que *Cecropia peltata L* (Guarumo) es la especie con mayor potencial acumulador ($1{,}95\ mg/kg$) en Zn, Fe y Pb. El resto de las especies (*Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb con $1{,}43\ mg/kg$ en (Zn), *Pourouma cecropiifolia* Mart con $0{,}93\ mg/kg$ en (Cu), *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson con $1{,}05\ mg/kg$ en (Zn), *Trichantera gigantea* (Bonpl.) Nees con $1{,}43\ mg/kg$ en (Zn) y *Vochysia leguiana* J.F. Macbr con $1{,}25\ mg/kg$ en (Cu). Estos resultados permitieron proponer a *C. peltata* como especie fitorremediadora para áreas contaminadas por la minería en la comunidad El Capricho, lo cual puede ofrecer una alternativa productiva a las comunidades rurales de las zonas contaminadas, combinando con cualquiera de las otras especies estudiadas para beneficiar la restauración de áreas contaminadas por metales pesados y favorecer la conservación de flora y fauna.

Palabras clave: Fitorremediación, Plantas hiperacumuladoras, Metal pesado.

Abstract

At the present time, the development of the economy, exploitation and utilization of mineral resources have increased soil contamination, causing negative effects on the ecosystem. The objective of this investigation has been to evaluate the bioaccumulative potential of heavy metals in six species of forest interest for phytoremediation purposes in areas contaminated by mining on the banks of the Pinyoyacu river, El Capricho community. The bioconcentration of four metals, iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), lead (Pb) at foliar and soil levels was determined by Atomic Absorption Spectrometer. The results on the concentration of heavy metals at the foliar level, in the soil and the bioconcentration factor indicated that C. Peltata L (Guarumo) is the species with highest accumulator potential (1.95 mg/kg) in Zn, Pb and Fe. The rest of the species (*Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb with (1.43 mg⁄kg) in (Zn), *Pourouma cecropiifolia* Mart with (0.93 mg⁄kg) in (Cu), *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson with (1.05 mg⁄kg) in (Zn), *Trichantera gigantea* (Bonpl.) Nees with (1.43 mg⁄kg) in (Zn), *Vochysia leguiana* J.F. Macbr with (1.25 mg⁄kg) in (Cu)). These results allowed proposing *C. peltata* as a phytoremediation species for contaminated areas by mining in the community El Capricho and a productive alternative can be offered to rural communities in contaminated zones combining with any of the other species studied to benefit the restoration of contaminated areas by heavy metals and favor the flora and fauna conservatión.

Keywords: phytorremediation, hyperaccumulator plants, heavy metal.

Introducción

Con el rápido desarrollo de la economía, la explotación y utilización de los recursos minerales ha provocado un aumentado en la contaminación del suelo por metales pesados, causada por el desarrollo mineral cada vez más grande y extenso (Wang et al., 2019). La minería de oro artesanal y en pequeña escala se encuentra entre las fuentes más importantes de metales en los ecosistemas, los cuales causan severa contaminación (Jiménez-Oyola et al., 2021). Los metales pesados presentes en los desechos mineros se liberan fácilmente a muchos ambientes, lo que ocasiona efectos potencialmente adversos sobre los ecosistemas (Guzmán-Martínez et al., 2022) y los bosques (Mountouris et al., 2002), que a su vez perturba las comunidades biológicas, afectando la densidad, diversidad de las bacterias y hongos rizosféricos, disminuyendo la abundancia y riqueza

de la fauna presente (Yóplac et al., 2020). La Cordillera del Cóndor es una zona rica en minerales particularmente en oro y cobre por lo que existen propuestas de explotación a cielo abierto por empresas como “Ecuacorriente”, “Aurelian Resources", ocasionando efectos negativos al ecosistema, sin embargo, no hay suficientes datos que evidencien la pérdida de bosques requiriendo más exploración en la Cordillera del Cóndor para comprender la fitogeografía de esta área altamente diversa y apoyar los esfuerzos de conservación frente a la deforestación y las actividades mineras en la región (Kuhn, 2011; Rodríguez-Rodríguez et al., 2013; Zapata et al., 2021).

El suelo es un recurso natural indispensable para la vida del planeta, permite el establecimiento de actividades agrícolas, forestales y ganaderas (García, Fanny, 2015); sin embargo su progresiva degradación se debe a la pérdida de los recursos naturales causada por contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos (Buendía et al., 2014) como consecuencia de actividades naturales (erosión, filtraciones salinas) y antrópicas (industria, exceso de agricultura, tratamientos de agua residuales, construcción, derrames de petróleo, explotación minera, minería artesanal) (Arthur et al., 2005; Yóplac et al., 2020). La contaminación del suelo por metales pesados presenta un efecto tóxico, agudo y crónico sobre las plantas que crecen en dichos suelos (Yadav, 2010). Sin embargo, algunas de las plantas presentes en suelos contaminados sobreviven valiéndose de mecanismos naturales y propios (SCHNOOR et al., 1995; Yóplac et al., 2020), desarrollando un mecanismo para combatir los problemas ambientales adversos de toxicidad de metales pesados (Bricker et al., 2001; Yadav, 2010), sirviendo a su vez como biomonitores de la contaminación ambiental (Greksa et al., 2019). Actualmente, existen estudios de contaminación ambiental que se centran principalmente en evaluar la concentración de metales pesados en el sistema suelo-planta, porque juega un papel positivo en el monitoreo del medio ambiente, el control de la contaminación y la restauración ecológica en las zonas mineras (Wang et al., 2019). Una serie de investigadores han propuesto el uso de técnicas de fitorremediación para eliminar la contaminación por metales pesados, seleccionando plantas resistentes para reparar suelos contaminados (Bini et al., 2017; Domínguez et al., 2008; Jiménez et al., 2011; Wang et al., 2019; Zhan et al., 2014). La fitorremediación conlleva un menor coste de reparación y puede aplicarse en grandes superficies (Gamalero et al., 2009; Liu & Liu, 2015; Moore et al., 2016; Wang et al., 2019). Las plantas tolerantes a metales pesados o plantas hiperacumuladoras ofrecen una amplia perspectiva para la fitorremediación del medio

ambiente en yacimientos minerales y pretende descubrir las características de bioconcentración de metales pesados en el suelo (Fang & Cao, 2009; Wang et al., 2019; Zhi, 2012).

En Ecuador, la minería ilegal y descontrolada ha producido una severa contaminación ambiental, principalmente en cuanto a descargas de elementos potencialmente tóxicos (Carling et al., 2013). La alta presencia de oro en los ríos de Napo ha dado lugar a la explotación de este material de manera artesanal y al no tener ninguna técnica, ni responsabilidad socio-ambiental (De et al., 2016) se originaron operaciones mineras de pequeña escala, con plantas de procesamiento ubicadas cerca de los ríos, liberando grandes descargas de relaves (Carling et al., 2013; Jiménez-Oyola et al., 2021). Por ello, existe evidencia de contaminación por metales como cadmio (Cd), cobre (Cu) y plomo (Pb) en zonas mineras (Cuenca, 2022). Las actividades de minería artesanal, concesiones mineras y zonas de libre aprovechamiento (construcción) en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola, comunidad El Capricho son realizadas sin ningún tipo de consideración técnica, propiciando efectos agudos y crónicos al ecosistema como pérdida de flora y fauna provocando efectos adversos al paisaje forestal, relieve y a los organismos.

Esta investigación pretende evaluar el potencial bioacumulador de los metales pesados, cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), zinc (Zn) de seis especies forestales *(Cecropia peltata L, Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb, Pourouma cecropiifolia Mart, Tabebuia chrysantha (Jacq.) G. Nicholson, Trichantera gigantea (Bonpl.) Nees,* y *Vochysia leguiana J.F. Macbr.)* con fines de fitorremediación en sitios contaminados por la minería.

Metodología

Área de Estudio

El área de estudio está ubicada en la frontera entre Carlos Julio Arosemena Tola y Santa Clara, a orillas del río Pinlloyacu cerca de la comunidad El Capricho, en la cual está inscrita una concesión minera en fase de exploración-explotación, con nombre de concesión: El Capricho y código catastral: 4490.1 (Figura 1).

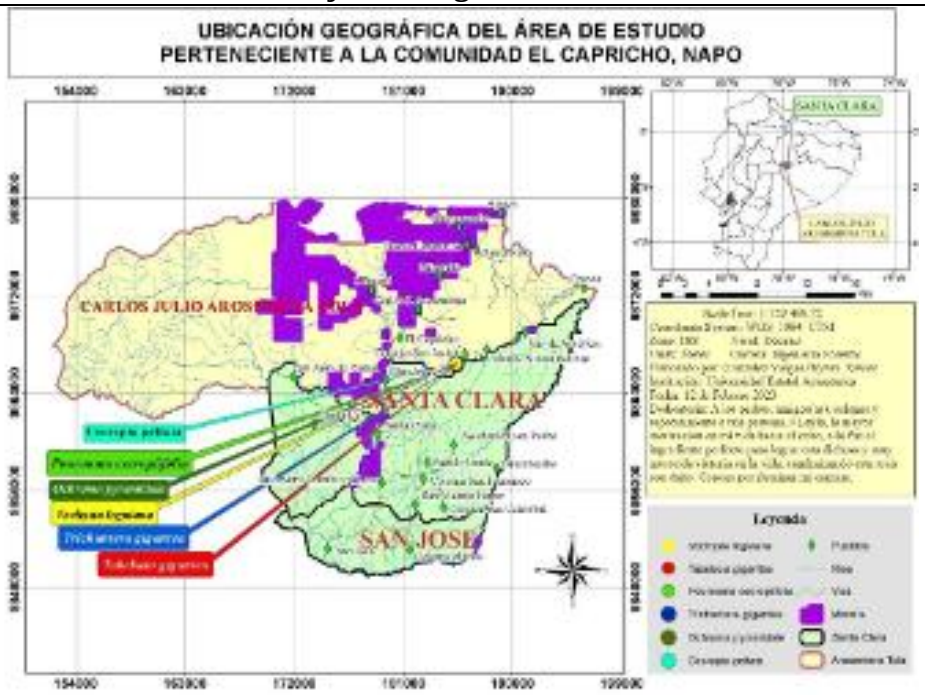


Figura 1. *Ubicación geográfica del área de estudio perteneciente a la comunidad El Capricho, Napo.*

Las seis especies de interés forestal se encontraron ubicadas a la orilla del río Pinyollacu, delimitando las coordenadas geográficas (Figura 2).

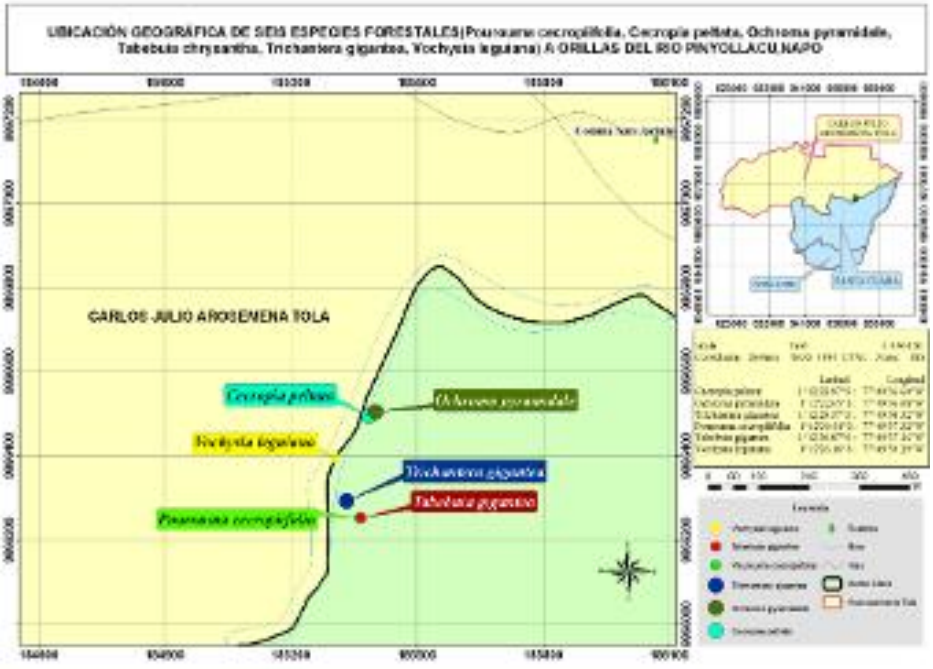


Figura 2. *Ubicación geográfica de las seis especies donde se colectaron muestras de hojas y suelo en el río Pinyoyacu, comunidad El Capricho.*

Tipo de Investigación

El tipo de investigación utilizado en este trabajo fue la descriptiva y analítica.

La investigación descriptiva permitió conocer algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos existentes en la zona de recolección, utilizando criterios sistemáticos que concedieron establecer la estructura de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes, además, el investigador puede elegir ser un observador completo u observar cómo participante (Guevara et al., 2020). En este aspecto se describió la bioacumulación de metales pesados de seis especies forestales en áreas contaminadas para ser tomadas en cuenta como especie fitorremediadora.

Por otro lado, la investigación analítica permitió analizar y establecer los minerales presentes en las muestras de hojas y suelos colectadas, es decir, que el método analítico fue indispensable para llegar a un resultado mediante la descomposición del problema de la minería ilegal en sus elementos constitutivos como la contaminación con metales pesados y su remediación con especies fitorremediadoras (Lopera Echavarria et al., 2010).

Muestreo

Se seleccionaron seis especies forestales: *(C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana)*. La selección de especies forestales se fundamentó en los siguientes criterios: especies de interés forestal, de importancia económica y ecología, y con abundancia en la ribera del río. La identificación botánica de las especies seleccionadas se realizó mediante la ayuda de un técnico nativo de la zona con alto conocimiento de especies locales, que labora en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), además, se realizó un proceso de validación de las especies identificadas en campo mediante revisión bibliográfica (Palacios, 2016)y recursos virtuales (Garden, 2023).

Se recolectó material vegetal de diferentes ramas alrededor de todo el árbol, cortando primero las ramas evitando el contacto de las hojas con el metal de las tijeras y seleccionando las hojas jóvenes y adultas en buen estado fitosanitario (Martinez, 2022). Se recolectaron cuatro muestras de suelo en un radio de 30 cm alrededor de cada planta con ayuda del equipo para muestreo de suelo (Barreno), a una profundidad de 30 cm,

aumentando la posibilidad de encontrar algún metal disperso por lixiviación, escorrentía u otro factor. Posteriormente, se descargaron en un balde para mezclar y eliminar la hojarasca y raíces presentes.

Las muestras de suelo y de hojas se empacaron en bolsas de polietileno, selladas y etiquetadas con el número de muestreos, nombre común, latitud, altitud y coordenadas geográficas antes del ensayo químico del laboratorio (Wang et al., 2019) para el análisis de metales pesados Fe, Cu, Zn y Pb.

- ***Procesamiento de muestras en laboratorio*.**

  – Pretratamiento de material vegetativo: Las hojas de las plantas, juntamente con los tallos fueron lavados con agua del grifo para eliminar algún rastro de polvo y posteriormente se limpiaron tres veces con agua destilada. Después del secado natural, cada muestra se colocó en bandejas y sobre papel de aluminio, fueron cuidadosamente etiquetadas e introducidas en una estufa con circulación forzada de aire para ser secadas a una temperatura constante de 60 °C durante 72 h. Una vez secas fueron molidas en un mortero de ágata hasta obtener un material fino para luego ser trituradas en un molinillo a cuchillas hasta obtener un tamaño de partículas inferiores a 2 mm (Greksa et al., 2019; Wang et al., 2019).

  – Pretratamiento de muestras de suelo: Las muestras de suelo fueron correctamente coladas en bandejas sobre papel de aluminio e igualmente bien etiquetadas. A continuación, se colocaron en la estufa con circulación forzada de aire a una temperatura constante de 60 °C durante 72 h, después se tamizaron a través de un tamiz de 2 mm y se almacenaron dentro de fundas de polietileno codificadas (Al-Rashdi & Sulaiman, 2013; Wang et al., 2019).

- ***Ensayos químicos***.

  La digestión o mineralización de las muestras puede realizarse por dos vías, digestión por vía seca donde se incinera las muestras a menos de 600 °C, aunque existe el riesgo de contaminación o pérdida de analito. El otro método de digestión es por vía húmeda, que incluye la descomposición por ácidos solos o mezclados en un sistema presurizado, usando vasos cerrados climatizados en un horno microondas o autoclave; en algunos casos la digestión o mineralización puede realizarse también por ultrasonido (Mendoza et al., 2015). Los sistemas cerrados tienen varias ventajas en

relación con los sistemas abiertos, incluyendo la reducción de contaminación al igual que la pérdida del analito y eleva el punto de ebullición del ácido, lo que conduce a una digestión más rápida y completa (Hansen et al., 2009).

El Laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica, cuenta con un sistema de digestión por microondas de alto rendimiento "ETHOS One High Performance Microwave Digestion System"; equipado con 12 envases de 50 ml de capacidad de TFM (Teflon Fluor Modified) (Mendoza et al., 2014), diseñado específicamente para la digestión ácida de cualquier tipo de muestras, con un control total de todos los parámetros de reacción, una garantía de calidad de digestión incorporada, con altos estándares de seguridad y una productividad elevada (Chemistry, n.d.), por lo que se empleó esta vía para la digestión de las muestras.

Previamente, al proceso de digestión de las muestras de suelo y material vegetal, en un matraz aforado de 1 L se llenó la mitad con Peróxido de hidrógeno (H_2N_2), luego se añadió 71,5 mL de Ácido Nítrico (HNO_3) concentrado y se completó el volumen con Peróxido de hidrógeno (H_2N_2) hasta la línea de aforo. También se preparó una solución para lavado de materiales, en un vaso de precipitación de 1 L se vertió 600 mL de Peróxido de hidrógeno (H_2N_2) y 1 mL de Ácido nítrico (HNO_3). Para verificar el análisis de digestión, cada muestra contó con tres repeticiones (R1, R2, R3).

- **Digestión del material vegetativo y muestras de suelo por: Ethos one high performance microwave digestion system:** Del material seco y triturado, se pesó 0,5 g para material vegetal y 0,2 g para las muestras de suelo, utilizando una balanza analítica (Alsehli, 2021; Núñez-Montoya1 & M. T. Alarcón-Herrera, 2007). Las masas de 0,5 g y 0,2 g fueron transferidas a los envases de teflón (Mendoza et al., 2014) y con una pipeta graduada con pera incorporada se agregó con precaución para material vegetal 7 mL de Ácido nítrico (HNO_3) al 65% y 1 mL de Peróxido de hidrógeno (H_2N_2) al 30% en cada envase; para las muestras de suelo se agregó 10 mL de Ácido nítrico (HNO_3) al 65%, consecutivamente los recipientes se sellaron y se transfirieron cuantitativamente desde el envase número 2 hasta colocar como último envase al número 1 debido a la ubicación específica del termómetro del

microondas dentro del envase. Una vez instalado los 12 envases se colocó su cubierta y se cerró la puerta del microondas, la cual trabaja a una potencia de 800 W y temperatura máxima de 170 °C durante un tiempo específico hasta que la temperatura disminuya a 40 ° C para retirar los envases en el mismo orden que se introdujo.

Uno por uno se transfirió a la campana de extracción de gases para disipar cualquier gas residuo resultante de la combustión que se liberan al abrir cada envase con el brazo ajustador (palanca); hasta que el gas se disipe completamente, se enumeraron 12 vasos de precipitación de 25 mL y 12 matraces aforados de 25 mL. Se llena cuidadosamente la mitad de una piseta con la mezcla resultante del matraz de 1L y una vez disipado el gas cada muestra se diluyó con la mezcla de la piseta cuantitativamente en sus vasos de precipitación y matraces aforados bien enumerados. Después de eso, se lavaron 12 envases cilíndricos de 2 onza, hechos de polietileno en una solución preparada, una vez secos fueron debidamente etiquetados para transferir cada muestra al envase respectivo y luego sellarlas debidamente para llevarlas a refrigeración y se lavaron los vasos de precipitación y matraces aforados minuciosamente y posterior se pusieron a secar en la estufa.

– **Cuantificación de cuatro metales, cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), zinc (Zn):** Se retiraron las 12 muestras de refrigeración a una temperatura de 6 °C y se filtraron con papel filtro whatman sobre los mismos 12 vasos de precipitación ya totalmente secos. Una vez filtrada cada muestra, la cuantificación de metales se realizó en un espectrómetro de absorción atómica (Núñez-Montoya1 & M. T. Alarcón-Herrera, 2007) y las concentraciones se expresaron en mg/kg con base en peso seco (Garg et al., 2014).

– **Factor de bioconcentración:** Para evaluar la eficiencia de absorción de metales pesados (Garg et al., 2014) se combinó la concentración de metales tanto en el suelo como en las plantas y se calculó el potencial de acumulación de elementos o compuestos (factor de bioconcentración) mediante la siguiente fórmula:

$$Factor\ de\ bioconcentración\ (FBC) = CMIP/CMIS$$

Expresado como un cociente donde se dividió la concentración de metales pesados en la planta (CMIP) para (CMIS) que es la concentración de metales pesados en el suelo (Wang et al., 2019). Teniendo en cuenta que la característica de una planta hiperacumulativa es que su BFC debe ser mayor o igual a $1\,mg/Kg$ para ser considerados como bioacumuladores (Takarina & Pin, 2017)

Análisis de datos

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software Origin 2022. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confiabilidad del 95% para la concentración de metales pesados a nivel foliar, en el suelo y para el factor de bioconcetración, con el objetivo de encontrar diferencias significativas entre los cuatro metales pesados, cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), zinc (Zn) en cada una de las seis especies *(C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana)*. Con los datos paramétricos se elaboró una tabla de doble entrada conocida como matriz de correlación de Pearson para examinar las relaciones entre los metales analizados tanto a nivel del suelo como foliar, en los cual los valores oscilan desde 0 a 1, y a medida que el valor se acerca más a 1 indica que la correlación o relación entre los metales es mucho más fuerte. Posteriormente, se hizo una clasificación de grupos a través del análisis de clúster (Tabla 1, Anexos), para la interpretación de resultados se usó el gráfico de forma circular que facilitó clasificar grupos de especies y metales que tienen relaciones entre sí (similitudes), y quienes se diferencian de otros grupos, bajo el criterio de cohorte de 50% de similitud. Se efectuó un método de estadística multivariada conocido como análisis de componentes principales (ACP) con dos propósitos: primero, identificar el número de componentes que expliquen el comportamiento de la variabilidad total de los datos (Tabla 2, Anexos) y segundo, mediante el empleo de sistema de coordenadas (gráfico bidimensional) establecer la separación de las especies analizadas en dependencia de las concentraciones de metales pesados a nivel del suelo y foliar. Los análisis estadísticos se tabularon utilizando Windows Excel y se presentaron en formato de tabla (Takarina & Pin, 2017) en Anexos.

Resultados

Concentración de metales pesados en seis especies forestales: (*C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana*).

Se utilizó diagramas de caja para presentar los resultados estadísticos (Xiao et al., 2021), y se elaboró un glosario en formato tabla para mejorar el entendimiento de sus abreviaciones empleadas en los análisis gráficos (Tabla 3).

Tabla 3. *Glosario para facilitar la interpretación de los cuatro metales analizados (cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), zinc (Zn)) en tejido foliar (F), en el suelo (S) y el factor de bioconcentración (FB).*

Abreviatura	Definición	Abreviatura	Definición
Fe-F	Hierro a nivel foliar	Fe-S	Hierro en el suelo
Cu-F	Cobre a nivel foliar	Cu-S	Cobre en el suelo
Zn-F	Zinc a nivel foliar	Zn-S	Zinc en el suelo
Pb-F	Plomo a nivel foliar	Pb-S	Plomo en el suelo
FB-Fe	Factor de bioconcentración en Hierro	FB-Zn	Factor de bioconcentración en Zinc
FB-Cu	Factor de bioconcentración en Cobre	FB-Pb	Factor de bioconcentración en Plomo

Fuente: Elaboración propia

A través de la corrida de los datos obtenidos por ANOVA se distinguieron letras diferentes, lo que indicó que existe diferencias significativas para los elementos (Cu), (Fe) y (Zn) entre las seis especies analizadas, mientras que en (Pb) existieron semejanzas entre algunas especies en el tejido foliar. El análisis de (Fe-F) mostró que la especie *C. peltata* fue la de mayor capacidad de absorción, con concentraciones de hasta 290 mg/kg^{-1}. El (Cu-F) indicó que *V. leguiana* y *O. pyramidale* mostraron un comportamiento similar en la capacidad de absorción de este metal, con valores de 14 mg/kg^{-1} y la especie *C. peltata* presentó mayor capacidad con un valor de 20 mg/kg^{-1}. El análisis de (Zn-F) mostró que la especie *T. gigantea* fue la de mayor capacidad de absorción, con un valor de 45 mg/kg^{-1}. Los resultados de (Pb-F) indicaron que las especies *P. cecropiifolia* y *T. gigantea* tienen un comportamiento

análogo en cuanto a la absorción de este metal pesado, en un rango de 1,8 hasta 3 mg/kg^{-1}, de igual manera *T. chrysantha* y *O. pyramidale* en un rango de 0,6 hasta 1,8 mg/kg^{-1}. Los valores más bajos los presentó la especie de *T. chrysantha*, en el análisis de (Fe-F) con 100 mg/kg^{-1} al igual en (Cu-F) con 9 mg/kg^{-1}, la otra especie fue *V. leguiana* con 11 mg/kg^{-1} en el análisis de (Zn-F) (Figura 3).

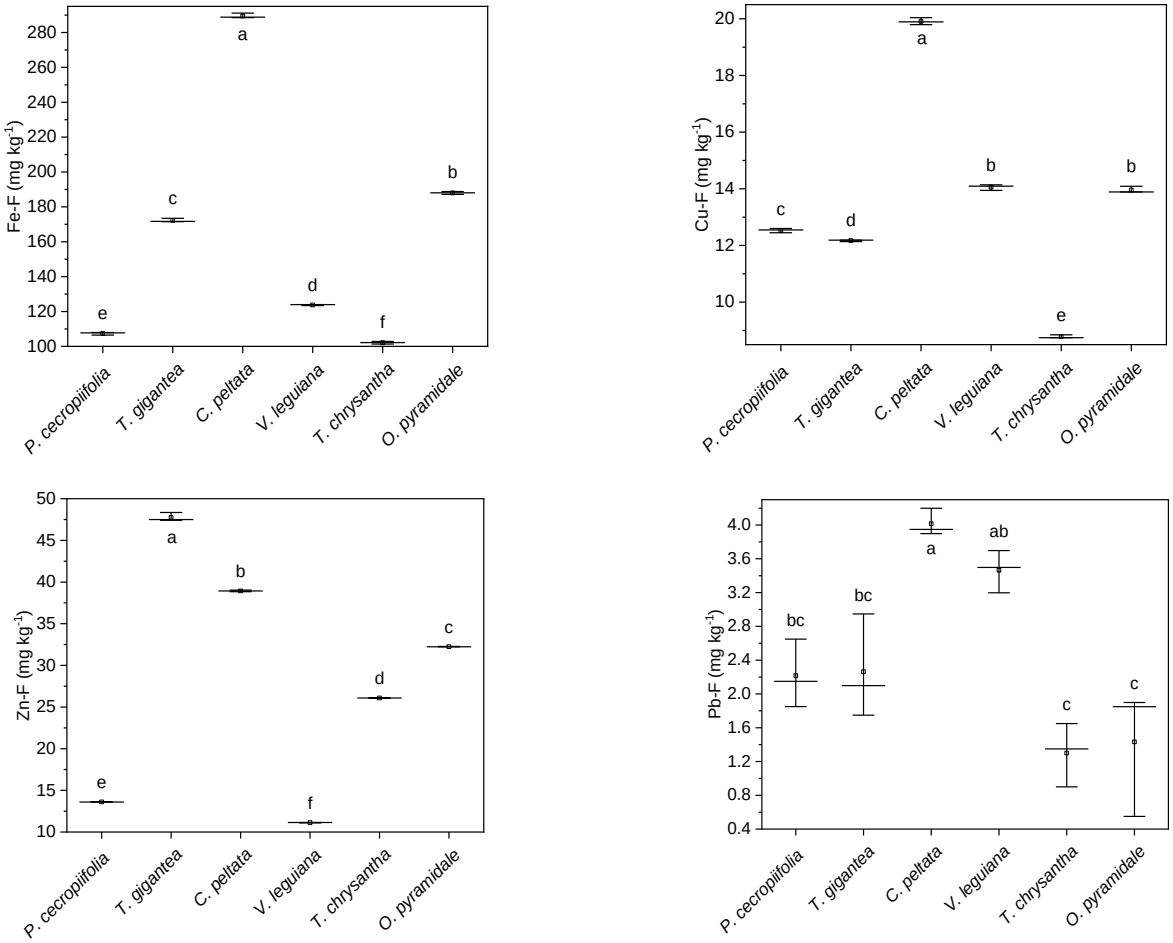
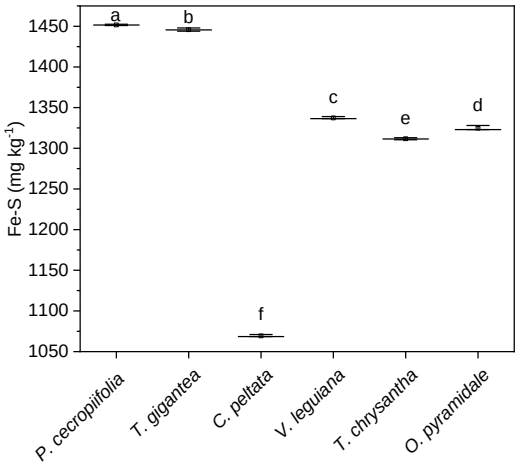
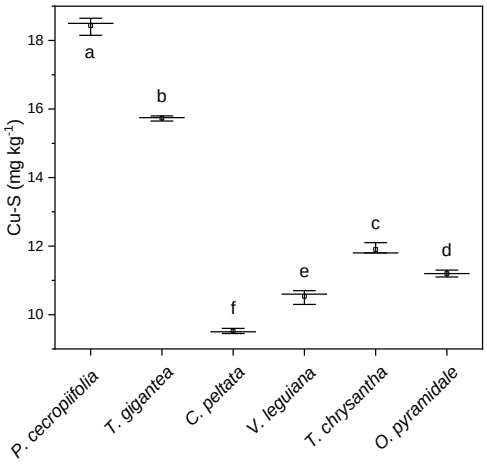


Figura 3. *Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con niveles de significación (p≤0,05). Resultados de la concentración de cuatro metales (Fe), (Cu), (Zn) y (Pb) a nivel de tejido foliar en las especies C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana (Letras desiguales indican diferencias significativas).*

Los resultados obtenidos del ANOVA con un nivel de significación de (p ≤0,05) permitió visualizar a través de los gráficos de caja las concentraciones medias de cada uno de los cuatro metales pesados (Fe), (Cu), (Zn), (Pb) presentes en el suelo donde se hallan las especies analizadas: *C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T.*

gigantea, V. leguiana. Se encontró una diferencia significativa en el comportamiento de (Fe-S), con valores superiores la especie *P. cecropiifolia* con valores con $1450\ mg/kg^{-1}$, seguido de *T. gigantea* con $1448\ mg/kg^{-1}$ y con menor valor de concentración *C. peltata* con $1065\ mg/kg^{-1}$. En cuanto al comportamiento de (Cu-S) se encontraron diferencias significativas, resultando que la especie que presentó mayor concentración fue *P. cecropiifolia* con rango de $18\ hasta\ 18,8\ mg/kg^{-1}$y valores medios de $18,5\ mg/kg^{-1}$ y la especie con menor valor fue *C. peltata* con $9,5\ mg/kg^{-1}$. En cuestión de (Zn-S) existió una conducta similar con las especies de *T. chrysantha* y *O. pyramidale*, presentando valores de $9,5\ mg/kg^{-1}$. La especie con mayor capacidad de captación fue *P. cecropiifolia* con $40\ mg/kg^{-1}$ y con menor valor la especie *C. peralta* con $20\ mg/kg^{-1}$. Por último, el análisis de (Pb-S) presentó un comportamiento similar entre las especies *P. cecropiifolia, T. gigantea* y *V. leguian* con un rango entre $11\ hasta\ 15,2\ mg/kg^{-1}$y *C. peralta* presentó el menor valor entre un rango de $2\ a\ 6\ mg/kg^{-1}$, con un valor medio de $4\ mg/kg^{-1}$ (Figura 4). Se interpreta que la especie con menor capacidad de absorber metales pesados en el suelo fue *C. peltata*, mientras que *P. cecropiifolia* es la especie con mayor capacidad de absorción para los cuatro metales analizados (Fe), (Cu), (Zn) y (Pb).





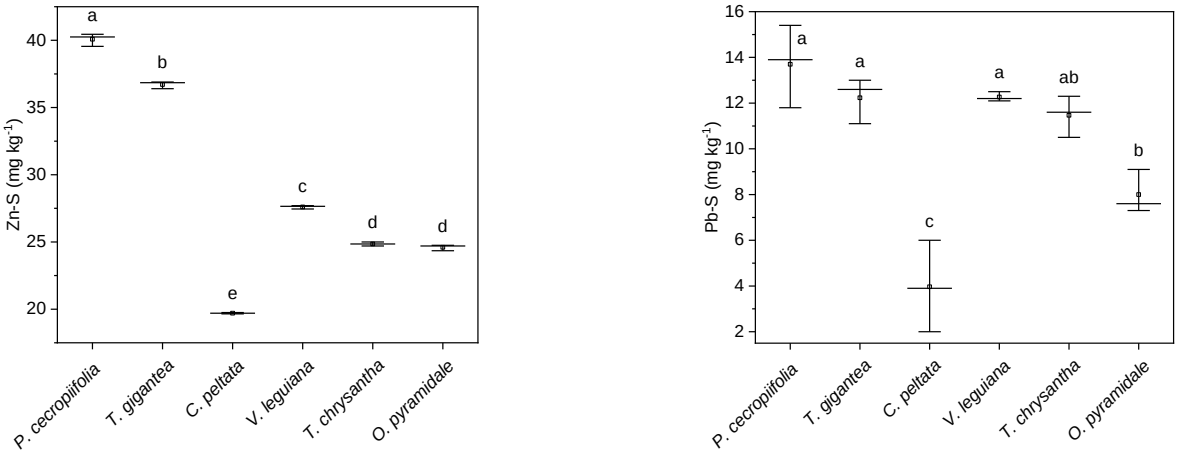


Figura 4. *Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con nivele de significación (p≤0,05). Resultados de la concentración de cuatro metales (Fe), (Cu), (Zn) y (Pb) en el suelo de las especies C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana (Letras desiguales indican diferencias significativas).*

La eficiencia de la acumulación de los metales (Fe), (Cu), (Zn), (Pb) en cada una de las seis especies fue calculada mediante el factor de bioconcentración (FBC). Se puedo observar que FB-Fe presentó un comportamiento diferenciado entre las especies y que *C. peltata* reportó el mayor valor con $0{,}25\ mg/kg$. El FB-Cu presentó de igual manera un comportamiento diferenciado entre las especies, sobresaliendo con el mayor valor *V. leguiana* con $1{,}25\ mg/kg$. El análisis de FB-Zn presentó un comportamiento diferenciado y la especie *C. peltata* presentó el mayor valor con $1{,}99\ mg/kg$. Se observó que para FB-Pb se presentaron comportamientos similares entre cinco de las especies estudiadas *(O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana)* con un valor que osciló de $0{,}1\ hasta\ 0{,}3\ mg/kg$ y la especie de *C. peltata* presentó el mayor valor con $0{,}65\ hasta\ 1{,}95\ mg/kg$ (Figura 5).

Se pudo apreciar que *C. peltata* se perfila más como especie bioacumuladora o hiperacumuladora por presentar tres de los valores más altos en el factor de bioconcentración respecto a (Cu), (Zn) y (Pb); las demás especies se destacan por su potencial de capturar uno de los cuatro metales analizados (Fe), (Cu), (Zn), (Pb).

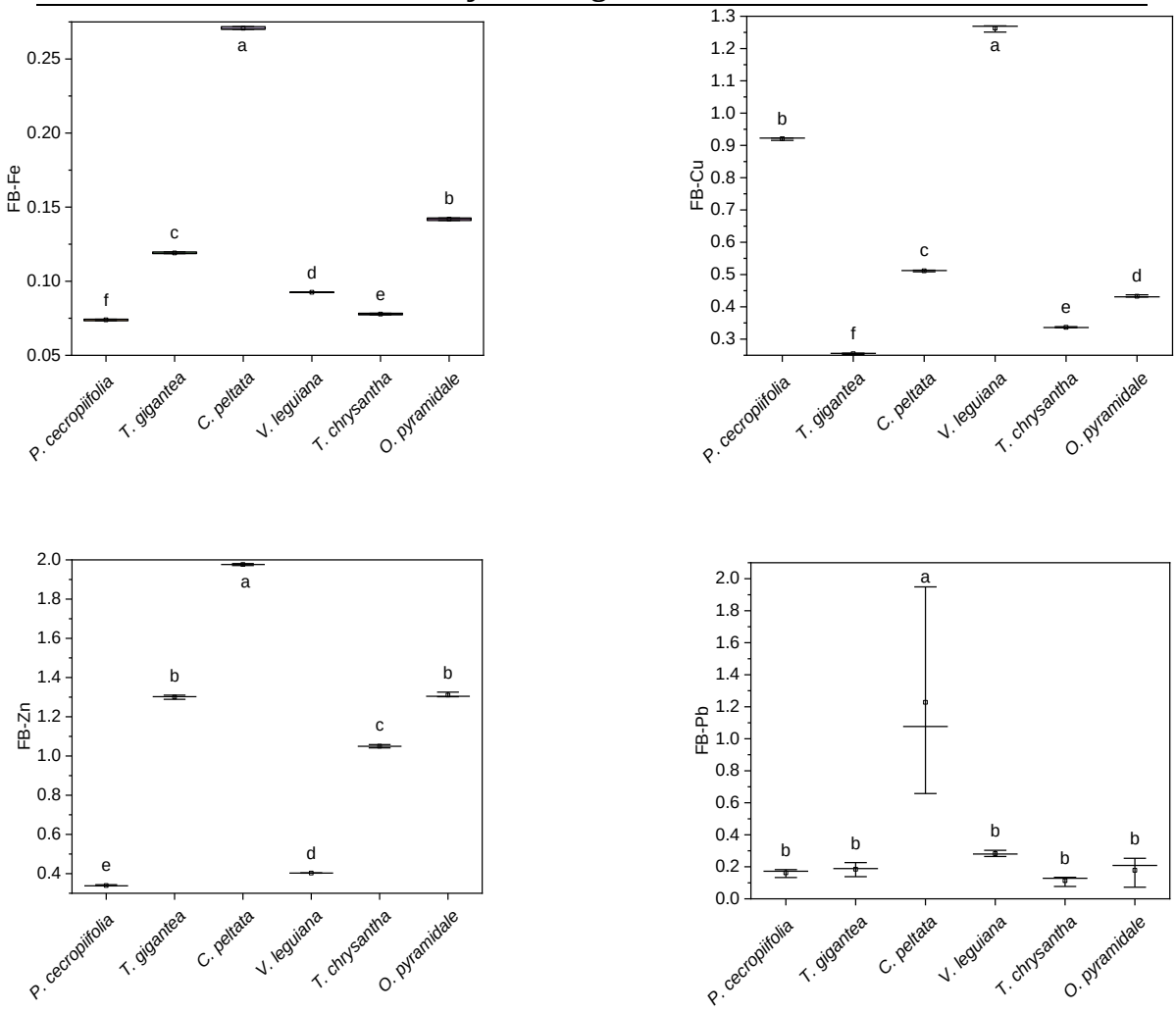


Figura 5. *Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con nivele de significación (p≤0,05). Resultados de la concentración de cuatro metales (Fe), (Cu), (Zn) y (Pb) para el factor de bioconcentración en las especies C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana (Letras desiguales indican diferencias significativas).*

Coeficiente de correlación de Pearson:

Los resultados de la matriz de correlación de Pearson indicaron que existe una correlación positiva superiores al 75% entre (Cu-F) y (Fe-F) de (r = 0,87), entre (Cu-S) y (Fe-S) de (r = 0,79), para (Zn-S) y (Cu-S) de (r = 0,96) y, entre (Pb-S) y (Zn-S) de (r = 0,77); de igual manera se visualiza correlaciones negativas superiores al 50% para (Pb-S) y (Fe-S) de (r = -0,87) y, (Pb-S) y (Cu-F) de (r = -0,74). El (FB-Fe) presentó correlaciones positivas superiores al 50% en cada metal a nivel foliar, pero presentó correlaciones negativas superiores al 50% para cada metal en el suelo; el (FB-Cu) y (Zn-

F) muestran una correlación negativa superior al 50% de (r = -0.85); el (FB-Zn) mostró relaciones positivas y negativas superiores al 50 % en tejido foliar y suelo, excepto en (Pb-F); el (Fb-Pb) muestra correlaciones positivas superiores al 50% con (Fe), (Cu) y (Pb) en tejido foliar y correlaciones negativas con (Fe), (Cu), (Zn) y (Pb)a nivel del suelo (Figura 6). De manera general se presentó una baja correlación entre los elementos del suelo y la planta.

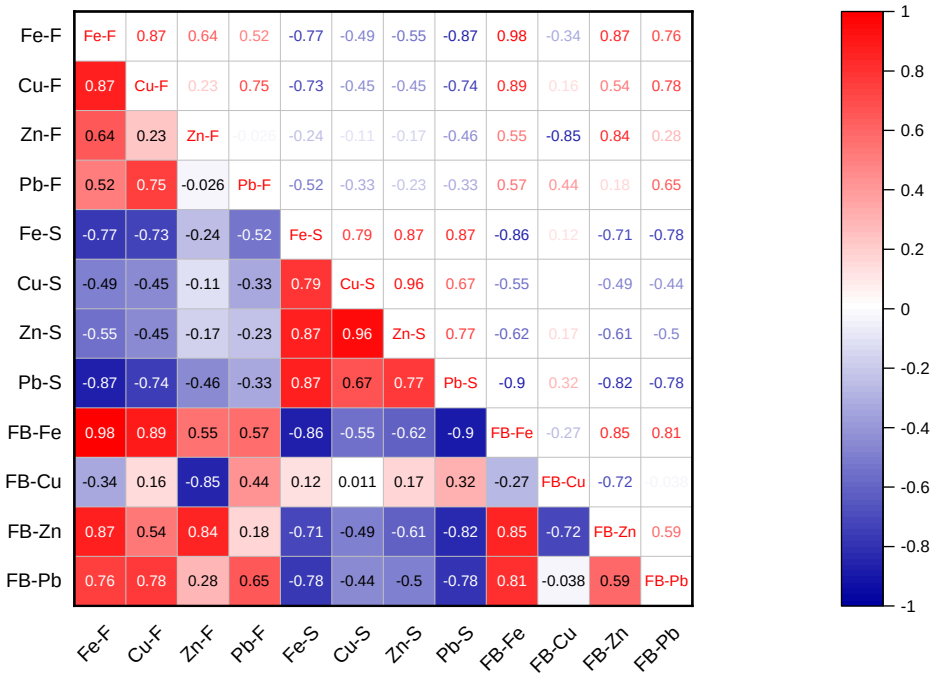


Figura 6. *Matriz de correlación de Pearson entre metales (Fe), (Cu), (Zn), (Pb) a nivel del suelo, tejido foliar y potencial bioacumulador.*

ANALISIS DE CLUSTER

Con el análisis de clúster se formaron 4 grupos en función de la concentración de los metales pesados (Fe, Cu, Zn, Pb) en las hojas de las especies estudiadas. El primer grupo lo formó la concentración de Fe en las hojas de *C. peltata*. El segundo grupo las concentraciones de Fe en las hojas de las especies *P. cecropiifolia, T. chrysantha, V. leguiana,* el tercer grupo estuvo formado por las concentraciones de Fe en las hojas de las especies *O. pyramidale, T. gigantea,* y el cuarto grupo lo conformó las concentraciones de Cu, Zn y Pb en las hojas de *C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea* y *V. leguiana* (Figura 7). Las agrupaciones formadas

facilitaron la clasificación de las especies con relación a la capacidad acumulativa de metales pesados, esto permitirá la selección de especies promisorias para ser tomarla en cuenta como especie fitorremediadora en áreas contaminadas por la explotación minera.

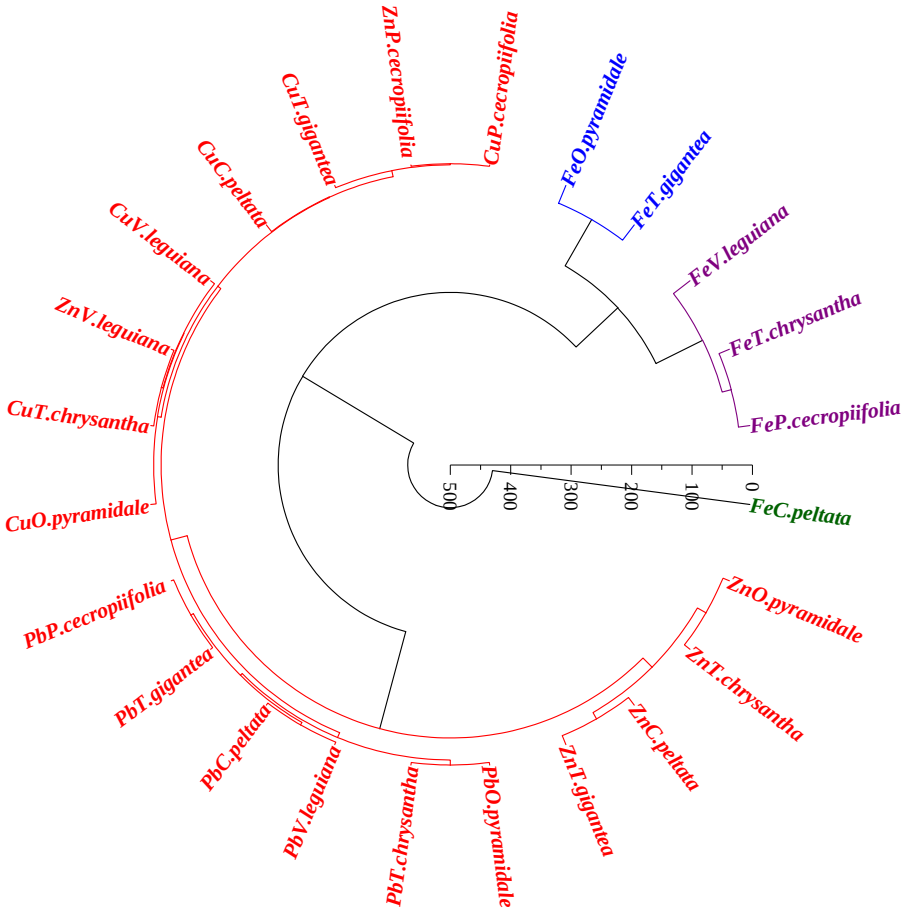


Figura 7. *Análisis de CLUSTER, agrupación establecida a partir de la concentración de los metales pesados (Fe, Zn, Cu y Pb) en las hojas de las especies C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana. (Colores iguales simbolizan la formación de grupos relacionados a la capacidad acumulativa de los metales pesados).*

Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP) reportó dos componentes principales, el componente principal 1 (PC1) con el 70,29% de variabilidad y el componente principal 2 (PC2) con 13,50% de variabilidad, lo que explicó el 83,79% de la variabilidad total de los datos obtenidos en la matriz. En relación con el análisis de PC1 las concentraciones de Pb y Cu fueron mucho menores que las de Fe y Zn. El sistema de coordenadas reportó que en el lado positivo del eje 1 se encuentra la especie *C. peltata*,

caracterizada por una menor relación en concentraciones de Cu, Zn, Fe, Pb suelo y una mayor relación en Cu, Fe, Pb, Zn en tejido foliar. Para el lado negativo del eje 1, las especies que se visualizaron con mayor concentración Fe, Zn, Cu en el suelo fueron las especies *T. gigantea* y *P. cecropiifolia*. En el eje 2 se presentó dos especies, *T. chrysantha* y *V. leguiana* con mayor actitud para sitios contaminados por Pb en el suelo. El factor de bioconcentración se relacionó con las especies *O. pyramidale* y *C. pelatata* con mayor capacidad de retener Cu y Fe respectivamente (Figura 8).

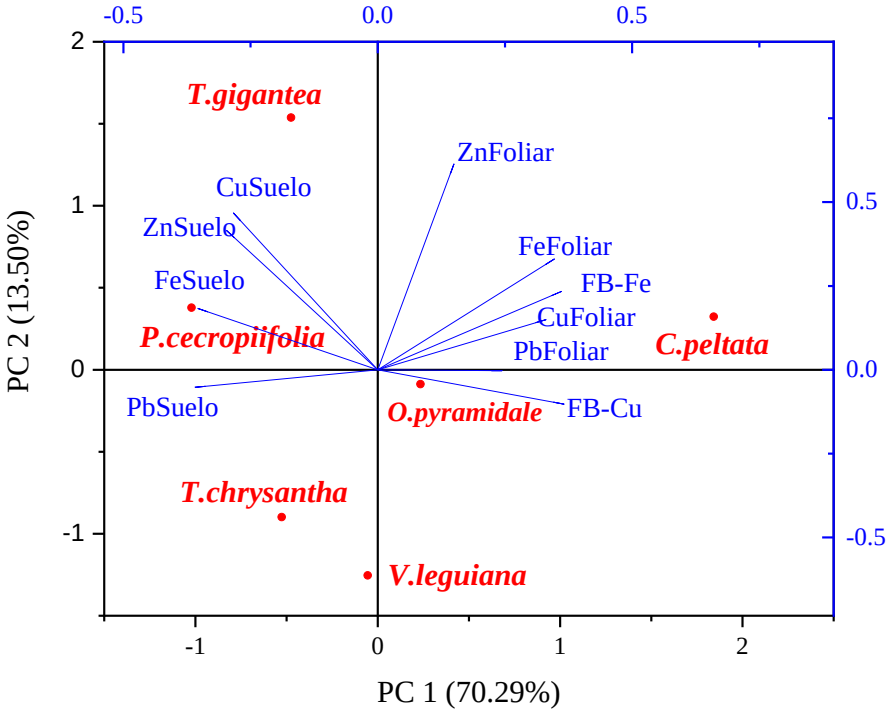


Figura 8. *Análisis de componentes principales de las concentraciones de metales pesados y factor de bioconcentración de Fe, Zn, Cu, Pb en hojas y suelos de las especies C. peltata, O. pyramidale, P. cecropiifolia, T. chrysantha, T. gigantea, V. leguiana.*

Discusión

Poseer conocimiento detallado sobre la capacidad de absorber a nivel de tejido foliar y captar en el suelo, metales pesados como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) en seis especies forestales: *Cecropia. peltata, Ochroma pyramidale, Pourouma cecropiifolia, Tabebuia chrysantha, Trichantera gigantea, Vochysia leguiana,* permite determinar la potencialidad como especie hiperacumuladora o biocumululadora para la recuperación de sitios contaminados por la minería. De igual manera (Al-Sayaydeh et al.,

2022) afirma que el uso de especies arbóreas en la fitorremediación tiene un potencial prometedor para el biomonitoreo y limpieza de áreas contaminadas por metales pesados.

La concentración de metales pesados resultante no superan los valores máximos permisibles, como los valores establecidos para criterios de remediación donde se reporta para Zn un valor mayor o igual a 60 mg/Kg , Pb un valor mayor o igual a 19 mg/Kg, Cu con valor de 25 mg/Kg y para Fe 0,3 mg/L (Presidencia de la Republica, 2017; Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2017) ; considerándose valores no tóxicos para las especies del área de estudio, además, (Takarina & Pin, 2017) menciona que la característica de una planta hiperacumulativa radica en su factor de bioconcentración, el cual deber ser mayor a 1 mg/Kg para ser considerada como bioacumuladora. En este estudio la especie *C. peltata* presentó mayor potencialidad como especie fitorremediadora con 1,95 mg/kg en la concentración de metales pesados (Zn, Pb, Fe) a nivel de tejido foliar, en el suelo y en el factor de bioconcentración. Las cinco especies restantes (*O. pyramidale* con 1,43 mg/kg en zinc (Zn), *P. cecropiifolia* con 0,93 mg/kg en cobre (Cu), *T. chrysantha* con 1,05 mg/kg en zinc (Zn), *T. gigantea* con 1,43 mg/kg en zinc (Zn), *V. leguiana* con 1,25 mg/kg en cobre (Cu)) mostraron la capacidad de acumular metales pesados.

Varios estudios evaluados han recomendado el uso de *C. peltata* como especie fitorremediadora, usada para procesos de reforestación, con la capacidad de concentrar y retener mayor cantidad de metales en las raíces, mejorando el paisaje, recuperando zonas afectadas para fines recreativos, por lo cual se aplicada más en terrenos extensos en donde existe mayor contaminación superficial, presentando un porcentaje de remoción de metales pesados entre 15,7% y 33,7% (Paredes & Rodríguez, 2020; Vidal Durango et al., 2010). La especie *C. peltata* presenta mayor capacidad para ser empleada en la fitorremediación y a través del tiempo de crecimiento de esta especie, soporta un mayor grado de contaminación de los suelos (Vidal Durango et al., 2010).

Conclusión

El análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación Tukey con nivel de confiabilidad del (95 %) demostró, que existen variaciones significativas a nivel foliar, suelo y en el factor de biococentración, donde sobresale *C. peltata* (Guarumo) con 1,95 mg/kg en zinc (Zn), plomo (Pb) y hierro (Fe). Las cinco especies restantes (*O. pyramidale* con 1,43 mg/kg en zinc (Zn), *P. cecropiifolia* con 0,93 mg/kg en cobre

(Cu), *T. chrysantha* con 1,05 mg/kg en zinc (Zn), *T. gigantea* con 1,43 mg/kg en zinc (Zn), *V. leguiana* con 1,25 mg/kg en cobre (Cu)) mostraron la capacidad de acumular metales pesados.

La matriz de correlación de Pearson, resultó con valores negativos y bajos entre la concentración a nivel foliar y en el suelo, lo cual pudiera estar dado por la capacidad de bioacumulación de las especies, siendo un criterio necesario para su uso como fitorremediadoras.

Los resultados permitieron identificar que *C. peltata* tiene mayor potencialidad como especie fitorremediadora, debido a la afinidad en la concentración de metales pesados en tejido foliar, en el suelo y en el factor de bioconcentración. Sin embargo, las otras especies, también se destacaron en la captación de metales pesados, lo que sugiere el uso combinado de las especies para la recuperación de sitios contaminados por la minería en la comunidad El Capricho.

Referencias.

Al-Rashdi, T. T., & Sulaiman, H. (2013). Bioconcentration of Heavy Metals in Alfalfa (Medicago sativa) from Farm Soils around Sohar Industrial Area in Oman. *APCBEE Procedia*, *5*, 271–278. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.05.047

Al-Sayaydeh, R. S., Al-Hawadi, J. S., Al-Habahbeh, K. A., Al-Nawaiseh, M. B., Albdaiwi, R. N., & Ayad, J. Y. (2022). Phytoremediation Potential of Selected Ornamental Woody Species to Heavy Metal Accumulation in Response to Long-Term Irrigation with Treated Wastewater. *Water (Switzerland)*, *14*(13). https://doi.org/10.3390/w14132086

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

Alsehli, B. R. M. (2021). Evaluation and comparison between a conventional acid digestion method and a microwave digestion system for heavy metals determination in mentha samples by ICP-MS. *Egyptian Journal of Chemistry*, *64*(2), 869–881. https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2020.43322.2874

Arthur, E. L., Rice, P. J., Rice, P. J., Anderson, T. A., Baladi, S. M., Henderson, K. L. D., & Coats, J. R. (2005). Phytoremediation—An Overview. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *24*(2), 109–122. https://doi.org/10.1080/07352680590952496

Bini, C., Maleci, L., & Wahsha, M. (2017). Potentially toxic elements in serpentine soils and plants from Tuscany (Central Italy). A proxy for soil remediation. *CATENA*, *148*, 60–66. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.014

Bortey-Sam, N., Nakayama, S., Ikenaka, Y., Akoto, O., Baidoo, E., Yohannes, Y., Mizukawa, H., & Ishizuka, M. (2015). Human health risks from metals and metalloid via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana: Estimation of the daily intakes and target hazard quotients (THQs). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *111*. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.008

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

Bricker, T. J., Pichtel, J., Brown, H. J., & Simmons, M. (2001). Phytoextraction of Pb and Cd from a superfund soil: Effects of amendments and croppings. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, *36*(9), 1597–1610. https://doi.org/10.1081/ESE-100106245

Buendía, H., Cruz, F., Meza, C., & Arévalo, J. (2014). Fitorremediación De Suelos Contaminados Por Hidrocarburos De Petróleo. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, *I*(30), 114.

Carling, G. T., Diaz, X., Ponce, M., Perez, L., Nasimba, L., Pazmino, E., Rudd, A., Merugu, S., Fernandez, D. P., Gale, B. K., & Johnson, W. P. (2013). Particulate and Dissolved Trace Element Concentrations in Three Southern Ecuador Rivers Impacted by Artisanal Gold Mining. *Water, Air, & Soil Pollution*, *224*(2), 1415. https://doi.org/10.1007/s11270-012-1415-y

Chemistry, C. (n.d.). *Milestone Product Line*.

Chen, G., Wang, X., Wang, R., & Liu, G. (2019). Health risk assessment of potentially harmful elements in subsidence water bodies using a Monte Carlo approach: An example from the Huainan coal mining area, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *171*, 737–745. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.101

Choi, J., Pak, C., & Lee, C. W. (1996). Micro nutrient toxicity in French marigold. *Journal of Plant Nutrition*, *19*(6), 901–916. https://doi.org/10.1080/01904169609365169

Cuenca, C. (2022). *Escuela Superior Politécnica De Historia, Situación Actual Y Desafíos De La Minería Aurífera Artesanal Y Pequeña Escala En La Región Amazónica Del Ecuador*.

De, C., De Rocas, M., Docente, I., & Burbano, D. (2016). *Universidad Central Del Ecuador Facultad De Geología, Minas, Petróleos Y Ambiental Carrera De Minas*.

Demirevska-Kepova, K., Simova-Stoilova, L., Stoyanova, Z., Hölzer, R., & Feller, U. (2004). Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese. *Environmental and Experimental Botany*, *52*(3), 253–266. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.02.004

Domínguez, M. T., Marañón, T., Murillo, J. M., Schulin, R., & Robinson, B. H. (2008). Trace element accumulation in woody plants of the Guadiamar Valley, SW Spain: A large-scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution*, *152*(1), 50–59. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.05.021

Dooyema, C. A., Neri, A., Lo, Y., Durant, J., Dargan, P. I., & Swarthout, T. (2012). *Research | Children ' s Health Outbreak of Fatal Childhood Lead Poisoning Related to Artisanal Gold*. *120*(4), 601–607.

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

Ebbs, S. D., & Kochian, L. V. (1997). Toxicity of Zinc and Copper to Brassica Species: Implications for Phytoremediation. *Journal of Environmental Quality*, *26*, 776–781.

Fang, H., & Cao, M. (2009). Assessment of heavy metals pollution in abandoned lead-zinc mine tailings in Huize of Yunnan Province. *Chinese Journal of Ecology*, *28*, 1277–1283.

Fontes, R. L. F., & Cox, F. R. (1998). Zinc toxicity in soybean grown at high iron concentration in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, *21*(8), 1723–1730. https://doi.org/10.1080/01904169809365517

Gamalero, E., Lingua, G., Berta, G., & Glick, B. R. (2009). Beneficial role of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on plant responses to heavy metal stress. *Canadian Journal of Microbiology*, *55*(5), 501–514. https://doi.org/10.1139/W09-010

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

Garg, V. K., Yadav, P., Mor, S., Singh, B., & Pulhani, V. (2014). Heavy metals bioconcentration from soil to vegetables and assessment of health risk caused by their ingestion. *Biological Trace Element Research*, *157*(3), 256–265. https://doi.org/10.1007/s12011-014-9892-z

Greksa, A., Ljevnaić-Mašić, B., Grabić, J., Benka, P., Radonić, V., Blagojević, B., & Sekulić, M. (2019). Potential of urban trees for mitigating heavy metal pollution in the city of Novi Sad, Serbia. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(10), 636. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7791-7

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Educational research methodologies (descriptive, experimental, participatory, and action research). *Revista Científica Mundo de La Investigación y El Conocimiento*, *0*(3), 163–173. https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173

Guzmán-Martínez, F., Arranz-González, J. C., García-Martínez, M. J., Ortega, M. F., Rodríguez-Gómez, V., & Jiménez-Oyola, S. (2022). Comparative Assessment of Leaching Tests According to Lixiviation and Geochemical Behavior of Potentially Toxic Elements from Abandoned Mining Wastes. *Mine Water and the Environment*, *41*(1), 265–279. https://doi.org/10.1007/s10230-021-00800-3

Hansen, T. H., Laursen, K. H., Persson, D. P., Pedas, P., Husted, S., & Schjoerring, J. K. (2009). Micro-scaled high-throughput digestion of plant tissue samples for multi-elemental analysis. *Plant Methods*, *5*(1), 1–11. https://doi.org/10.1186/1746-

4811-5-12

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

Jiménez, M. N., Bacchetta, G., Casti, M., Navarro, F. B., Lallena, A. M., & Fernández-Ondoño, E. (2011). Potential use in phytoremediation of three plant species growing on contaminated mine-tailing soils in Sardinia. *Ecological Engineering*, *37*(2), 392–398. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.030

Kuhn, R. (2011). No todo lo que brilla es oro: conflictos socio ambientales alrededor de dos proyectos de minería a gran escala en el Ecuador. *Universidad Andina Simón Bolívar Sede*, 88. http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/2259%5Cnhttp://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/2259/1/T0952-MELA-Kuhn-No todo.pdf

Kumar Yadav, K., Gupta, N., Kumar, A., Reece, L. M., Singh, N., Rezania, S., & Ahmad Khan, S. (2018). Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. In *Ecological Engineering* (Vol. 120, pp. 274–298). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.039

Lewis, S., Donkin, M. E., & Depledge, M. H. (2001). Hsp70 expression in Enteromorpha intestinalis (Chlorophyta) exposed to environmental stressors. *Aquatic Toxicology (Amsterdam, Netherlands)*, *51*(3), 277–291. https://doi.org/10.1016/s0166-445x(00)00119-3

Liu, Z., & Liu, S. (2015). [Development of bioremediation in China--a review]. *Sheng wu gong cheng xue bao = Chinese journal of biotechnology*, *31*(6), 901–916.

Lopera Echavarria, J. D., Ramírez Gómez, C. A., Zuluaga Aristazábal, M. U., & Ortiz Vanegas, J. (2010). El método analítico como método natural. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, *25*(1). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18112179017

Mendoza, B., Almao, L., Marcó Parra, L. M., & Rodríguez, V. (2015). Evaluación de dos métodos de digestión ácida en el análisis de tejido foliar de caña (Saccharum officinarum L.). *Ciencia y Tecnología*, *7*(2), 9–20. https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.98

Mendoza, B., Almao, L., & Rodríguez, V. (2014). Evaluación de dos métodos de digestión ácida en el análisis de tejido foliar de caña (Saccharum officinarum L.). *Ciencia y Tecnología*, *7*(2), 9–20.

Mohanpuria, P., Rana, N. K., & Yadav, S. K. (2007). Cadmium induced oxidative stress influence on glutathione metabolic genes of Camellia sinensis (L.) O. Kuntze. *Environmental Toxicology*, *22*(4), 368–374. https://doi.org/10.1002/tox.20273

Moore, F., Dehbandi, R., Keshavarzi, B., & Amjadian, K. (2016). Potentially toxic elements in the soil and two indigenous plant species in Dashkasan epithermal gold mining area, West Iran. *Environmental Earth Sciences*, *75*(3), 268.

https://doi.org/10.1007/s12665-015-5026-y

Mountouris, A., Voutsas, E., & Tassios, D. (2002). Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. *Marine Pollution Bulletin*, *44*(10), 1136–1141. https://doi.org/10.1016/s0025-326x(02)00168-6

Njinga, R. L., & Tshivhase, V. M. (2019). Major Chemical Carcinogens in Drinking Water Sources: Health Implications Due to Illegal Gold Mining Activities in Zamfara State-Nigeria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *111*(1), 737–745. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.101

Núñez-Montoya1, G. O., & M. T. Alarcón-Herrera. (2007). Chihuahuense para uso en fitorremediacion. Evaluation of Three Native Species from the Chihuahuan Desert for use in Phytoremediation. *Terra Latinoamericana*, *25*(1), 35–36.

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

Paredes, P. D., & Rodríguez, J. J. (2020). Revisión sistemática: Especies Vegetales en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados. In *Universidad Andina del Cusco*. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Petróleo, D. E. L., Apoyo, U. N., La, P., & Ecológica, R. (2013). *Artículo divulgativo*. *1997*, 1996–1999.

Presidencia de la Republica. (2017). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente*, *VI*, 286–340. www.lexis.com.ec

Quemá, G. (2015). *Evaluación de características anatómicas, y propiedades físicas - químicas de dos especies forestales de la amazonía Ecuatoriana*. 84.

Rodríguez-Rodríguez, E. F., Neill, D., Alvítez-izquierdo, E., Arroyo-, S. J., & Núñez-zapata, J. A. (2013). *Cordillera Del Cóndor Y Áreas Adyacentes En El Perú , Current Status of the Flora Studies in the Cordillera Del Condor and Adjacent Areas in Peru , 2006*. *1*(1), 101–120.

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

Romero, D. D. (2018). *Tres Especies Forrajeras En San Jose Del Fragua Caqueta*. 66.

Sánchez, D., Arends, E., Villarreal, A., & Cegarra, A. (2005). *Fenologia y caracterizacion de semillas y plantulas de Pourouma cecropiifolia Mart. Phenological aspects and characteristic of seeds and seedlings of Pourouma cecropiifolia Mart*.

SCHNOOR, J. L., LICHT, L. A., McCUTCHEON, S. C., WOLFE, N. L. E. E., & CARREIRA, L. H. (1995). Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants. *Environmental Science & Technology*, *29*(7), 318A-323A. https://doi.org/10.1021/es00007a747

Sodhi-Berry, N., Reid, A., Fritschi, L., Musk, A. B., Vermeulen, R., de Klerk, N., &

Peters, S. (2017). Cancer incidence in the Western Australian mining industry (1996-2013). *Cancer Epidemiology*, *49*, 8–18. https://doi.org/10.1016/j.canep.2017.05.001

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

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, T. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA. *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003*, *3399*, 1–578. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf

Tifarouine, L., Boutahar, L., Benabbou, A., Rguibi Idrissi, H., Bouarakia, O., Benmokhtar, S., El Abidi, A., Fekhaoui, M., & Benhoussa, A. (2022). Evaluation of bioconcentration of trace elements in the Western Mediterranean mouse Mus spretus at two Moroccan wetland sites. *Biologia*, *77*(10), 2843–2855. https://doi.org/10.1007/s11756-022-01110-x

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

Vidal Durango, J. V., Marrugo Negrete, J. L., Jaramillo Colorado, B., & Perez Castro, L. M. (2010a). Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia peltata). *Ingeniería y Desarrollo*, *27*, 113–129. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85215207007

Vidal Durango, J. V., Marrugo Negrete, J. L., Jaramillo Colorado, B., & Perez Castro, L. M. (2010b). Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia peltata). *Ingeniería y Desarrollo*, *27*, 113–129. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85215207007

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

Wójcik, M., & Tukiendorf, A. (2004). Phytochelatin synthesis and cadmium localization in wild type of Arabidopsis thaliana. *Plant Growth Regulation*, *44*(1), 71–80. https://doi.org/10.1007/s10725-004-1592-9

Wong, H., & Eudocio, E. (2016). Estudio Fenológico de Tabebuia chrysantha (Jacq.) G. Nicholson y Tabebuia billbergii (Bureau & K. Schum.) Standl. en la Reserva Ecológica de Arenillas. *UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja*, 61.

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

Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, *76*(2), 167–179. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007

Yóplac, K. E., Tuesta, O., Pariente, E., & Guzmán, W. (2020). Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú. *Revista Forestal Del Perú*, *35*(1), 31. https://doi.org/10.21704/rfp.v35i1.1474

Zapata, N., Perez, A., Burgess, K., Rea, E., Neill, D., Cevallos, D., Persson, C., & Øllgaard, B. (2021). Pseudolycopodiella iuliformis (Lycopodiaceae, Lycopodielloideae) in Ecuador and Peru; a disjunct species between the Guyana Shield and the Cordillera del Cóndor. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, *42*(2), 133–139. https://doi.org/10.26807/remcb.v42i2.903

Zhan, H., Jiang, Y., Yuan, J., Hu, X., Nartey, O. D., & Wang, B. (2014). Trace metal pollution in soil and wild plants from lead–zinc smelting areas in Huixian County, Northwest China. *Journal of Geochemical Exploration*, *147*, 182–188. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.10.007

Zhi, W. (2012). Epithermal-porphyry Cu-Mo-Au ploymetal metallogenic system in Machangqing ore field,Yunnan. *Acta Petrologica Sinica*.

Μηχανικων, Τ. Μ., Κοκκινου, Ε., Καραμάνου Ασπασία, Ημοκρατιασ, Τ. Η. Σ. Ε., Κινδύνων, Α., Προστασίας, Π., Ορισμοί, Έ., Ηλία, Π., Δανδουλάκη, Μ., Γαϊτάνη, I., Veithzal Rivai, D., Thesis, M., Sloane, G. M. T., Pröbstl-Haider, U., Rogers, A. W., Paciarotti, C., Cesaroni, A., Gorlova, N. I., Troska, Z. A., … Perkins, S. E. (2020). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Kaos GL Dergisi*, *8*(75), 147–154. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125798%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.smr.2020.02.002%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/810049%0Ahttp://doi.wiley.com/10.1002/anie.197505391%0Ahttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090409500205%0Ahttp:

Anexos

Tabla 1.

Evaluación clúster en metales para clasificar grupos e identificar relaciones, similitudes, y diferencias.

Elemento/ Especie	Valor foliar 1	Valor foliar 2	Valor foliar 3	Elemento/ Especie	Valor suelo 1	Valor suelo 2	Valor suelo 3
Fe-*P.cecropiifolia*	107,93	106,43	107,73	Fe-*P.cecropiifolia*	1451,50	1452,50	1451,00
Cu-*P.cecropiifolia*	12,45	12,55	12,60	Cu-*P.cecropiifolia*	18,15	18,50	18,65

Zn-*P.cecropiifolia*	13,60	13,60	13,65	Zn-P.cecropiifolia	39,55	40,25	40,45
Pb-*P.cecropiifolia*	2,15	1,85	2,65	Pb-*P.cecropiifolia*	11,80	13,90	15,40
Fe-*T.gigantea*	171,68	171,53	173,43	Fe-*T.gigantea*	1444,00	1445,50	1448,00
Cu-*T.gigantea*	12,14	12,19	12,19	Cu-*T.gigantea*	15,65	15,75	15,80
Zn-*T.gigantea*	47,40	48,35	47,50	Zn-*T.gigantea*	36,40	36,90	36,85
Pb-*T.gigantea*	2,10	2,95	1,75	Pb-*T.gigantea*	11,10	13,00	12,60
Fe-*C.peltata*	288,53	288,83	291,13	Fe-*C.peltata*	1068,50	1068,50	1071,00
Cu-*C.peltata*	19,89	19,79	20,04	Cu-*C.peltata*	9,45	9,50	9,60
Zn-*C.peltata*	38,83	38,93	39,03	Zn-*C.peltata*	19,65	19,75	19,70
Pb-*C.peltata*	3,95	3,90	4,20	Pb-*C.peltata*	6,00	2,00	3,90
Fe-*V.leguiana*	123,93	123,38	123,93	Fe-*V.leguiana*	1339,00	1336,50	1336,50
Cu-*V.leguiana*	14,09	13,94	14,14	Cu-*V.leguiana*	10,30	10,60	10,70
Zn-*V.leguiana*	11,09	11,14	11,14	Zn-*V.leguiana*	27,45	27,65	27,70
Pb-*V.leguiana*	3,50	3,70	3,20	Pb-*V.leguiana*	12,50	12,20	12,10
Fe-*T.chrysantha*	101,34	102,14	102,84	Fe-*T.chrysantha*	1310,50	1313,00	1311,50
Cu-*T.chrysantha*	8,74	8,84	8,74	Cu-*T.chrysantha*	11,80	11,80	12,10
Zn-*T.chrysantha*	26,08	26,13	26,03	Zn-*T.chrysantha*	24,85	24,70	25,00
Pb-*T.chrysantha*	1,65	1,35	0,90	Pb-*T.chrysantha*	12,30	10,50	11,60
Fe-*O.pyramidale*	187,20	188,05	188,80	Fe-*O.pyramidale*	1328,00	1323,00	1323,00

Cu-*O.pyramidale*	13,89	14,09	13,89	Cu-*O.pyramidale*	11,10	11,30	11,20
Zn-*O.pyramidale*	32,27	32,22	32,22	Zn-*O.pyramidale*	24,35	24,75	24,70
Pb-*O.pyramidale*	0,55	1,85	1,90	Pb-*O.pyramidale*	7,60	7,30	9,10

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 2.

Análisis de componentes principales (ACP) en tejido foliar y suelo por cada especie.

Especie	Fe-Foliar	Cu-Foliar	Zn-Foliar	Pb-Foliar	Fe-Suelo	Cu-Suelo	Zn-Suelo	Pb-Suelo
P.cecropiifolia	107,362	12,531	13,614	2,216	1451,667	18,433	40,083	13,700
T.gigantea	172,211	12,171	47,752	2,264	1445,833	15,733	36,717	12,233
C.peltata	289,501	19,909	38,934	4,015	1069,333	9,517	19,700	3,967
V.leguiana	123,742	14,058	11,127	3,465	1337,333	10,533	27,600	12,267
T.chrysantha	102,105	8,778	26,084	1,299	1311,667	11,900	24,850	11,467
O.pyramidale	188,016	13,956	32,241	1,432	1324,667	11,200	24,600	8,000

Fuente: *Elaboración propia.*

Marco Teórico:

Minería ilegal

La minería ilegal, es una problemática que ha existido por varias décadas en los países latinoamericanos y que va creciendo de forma exponencial en estas economías emergentes, al punto que, en muchas situaciones, se pierda el control de frenar dicha actividad. La minería ilegal es un tema que se encuentra fuera de control, al no aplicarse las medidas correctivas adecuadas para su erradicación conlleva a la afectación poblacional, ambiental y económica. Encaminada en dirección opuesta de toda acción que genere bienestar a la población situada a su alrededor, afecta diferentes ámbitos sociales y el uso indebido de los recursos del bien común, ocasionando una afectación al ecosistema natural de la región (Perilla Suárez, 2021). La naturaleza es la principal afectada por el desarrollo de la explotación minera realizada de forma irresponsable, la minería supera el sesenta por ciento de la explotación total en nuestro país, además de contaminación a gran escala causa enfrentamientos entre la sociedad civil y las empresas

privadas, problema que se da por la ausencia de los entes estatales o personal no capacitado para tareas de prevención de contaminante (Guevara et al., 2020).

La minería ilegal en el Ecuador, como en todos los países latinoamericanos subdesarrollados, ha causado serios daños a la salud, los habitantes de las áreas contaminadas, principalmente niños, están expuestos a los metales pesados en múltiples vías, a saber, agua potable, aguas superficiales, suelos y partículas suspendidas (Bortey-Sam et al., 2015; Chen et al., 2019; Njinga & Tshivhase, 2019). Varias enfermedades podrían atribuirse a la exposición a metales pesados, como el aumento riesgo de cáncer en la población expuesta (Sodhi-Berry et al., 2017) o muertes relacionadas con el envenenamiento por plomo debido a la contaminación ambiental masiva por actividades de procesamiento del mineral de oro (Dooyema et al., 2012). El interés por el oro a gran escala fortaleció verdaderas empresas sin control, su ilegalidad trae consecuencias destructivas hacia el ecosistema y al ambiente de sectores cercanos a las minas (Ulloa Sánchez, 2019).

Metales pesados

Los metales pesados son fuentes de contaminantes nocivos para el medio ambiente por tener propiedades de degradación complejas y poder disolverse fácilmente en el agua o depositarse en los sedimentos, al igual que acumularse en el cuerpo de organismos; un alto contenido de metales pesados en el agua, puede causar la muerte de la biota acuática (Μηχανικων et al., 2020)

- ***Metales pesados en los organismos.***

  Los organismos vivos necesitan de concentraciones específicas de elementos metálicos esenciales, como Hierro (Fe) y Zinc (Zn), pero pueden ser tóxicos para el cuerpo en niveles altos e interferir en el normal funcionamiento de los procesos biológicos.(Tifarouine et al., 2022). Las plantas expuestas a altos niveles de Cadmio (Cd) tienden a una reducción en la fotosíntesis, disminución en la absorción de agua y nutrientes, muestran síntomas visibles de clorosis, inhibición del crecimiento, oscurecimiento de las puntas de las raíces y finalmente su muerte (Mohanpuria et al., 2007; Wójcik & Tukiendorf, 2004). De igual manera, altos niveles de Zinc (Zn) pueden inhibir muchas funciones metabólicas de las plantas, pueden causar crecimiento retardado, senescencia, limitar el crecimiento de raíces y brotes

(Choi et al., 1996; Ebbs & Kochian, 1997; Fontes & Cox, 1998). El Cobre (Cu) es considerado como un micronutriente para plantas (Yadav, 2010) e importante en la asimilación de Co_2, síntesis de ATP y componente esencial de varias proteínas como la plastocianina del sistema fotosintético y el citocromo oxidasa de la cadena de transporte de electrones respiratorios (Demirevska-Kepova et al., 2004), pero las actividades mineras e industriales han contribuido a la creciente presencia de Cu en los ecosistemas, jugando un papel citotóxico, induce al estrés, retrasa el crecimiento de las plantas, clorosis de las hojas (Lewis et al., 2001)

- ***Mecanismos de tolerancia a metales pesados***

De acuerdo con (Alderete-Suarez et al., 2019) las plantas pueden adoptar distintas estrategias para contrarrestar la toxicidad de metales en su entorno dependiendo de la especiación química en la que se encuentren, tipo de suelo, pH del suelo, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, contenido de arcilla y potencial óxido reducción. Sobreviven valiéndose de mecanismos naturales y propios, como: la sorción, la liberación de exudados radicales y enzimas, y el incremento de la mineralización en la rizosfera (SCHNOOR et al., 1995; Yóplac et al., 2020). Adoptan distintas estrategias para contrarrestar la toxicidad de metales en su entorno. Unas basan su resistencia en una exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea; otras acumulan el metal en la parte aérea, en una forma no tóxica para sí misma (Alderete-Suarez et al., 2019; Núñez-Montoya1 & M. T. Alarcón-Herrera, 2007).

Además (Núñez et al., 2017) menciona que estos mecanismos de tolerancia involucran estrategias de: exclusión, mineralización, solubilización, reducción y quelación que es el mecanismo más recurrente en las plantas, permite la formación de un complejo entre el metal y el ligante, en donde este último, en este caso una molécula orgánica, tiene varios sitios de unión que le permiten sujetar fuertemente un átomo central único (en este caso el metal), formando un complejo muy estable que puede ser transferido y acumulado en las vacuolas de la planta; de esta manera, el metal se encuentra "secuestrado" y se evita la libre concentración de iones metálicos en el citosol, forzándoles a un espacio limitado; entre los quelantes producidos por las

plantas se encuentran los ácidos orgánicos, particularmente citrato, oxalato y malato; algunos aminoácidos, principalmente histidina; y metalotioneínas y fitoquelatinas

- ***Bioconcentración de metales pesados en plantas.***

La concentración de metales pesados en el suelo como en la planta es evaluada por el factor de bioconcentración representado por las siglas (FBC) o (BFC) debido a "bioconcentration factor", calcula el potencial de acumulación de elementos o compuestos como un cociente entre los niveles de concentración de metales pesados en la planta (CMIP) para la concentración de metales pesados en el suelo (CMIS); cuanto mayor sea su BFC, más fuerte es la acumulación de los metales pesados en la planta (Wang et al., 2019). La característica de una planta hiperacumulativa es que su BFC debe ser mayor a 1 mg/Kg para ser considerados como bioacumuladores (Takarina & Pin, 2017)

Fitorremediación

- ***Definición.***

La fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de especies vegetales para reducir *in situ/ex situ* la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de diversos tipos de contaminantes (Núñez et al., 2017).

- ***Mecanismos de fitorremediación.***

Como lo manifiesta (Gao et al., 2018) la desintoxicación de contaminantes por fitorremediación lleva al menos uno de los siguientes mecanismos.

- Fitoextracción: También llamada fitoacumulación por la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje.
- Rizofiltración: Se basa en la utilización de plantas crecidas en cultivos hidropónicos (por sus raíces con alta tasa de crecimiento y área superficial) para absorber, concentrar y precipitar contaminantes.

- Fitoestimulación: o rizodegradación: La formación de exudados radiculares permite estimular el crecimiento de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos.
- Fitoestabilización: Permite a la planta desarrollar un sistema denso de raíces para reducir la biodisponibilidad y la movilidad de los contaminantes.
- Fitovolatilización: Posibilita la evaporización o volatilización a medida que absorben agua las plantas junto al contaminante para luego ser expulsado hacia la atmósfera por las hojas.
- Fitodegradación: Transforma los contaminantes orgánicos en moléculas más simples. En determinadas ocasiones, los productos de la degradación sirven para acelerar su crecimiento, en otros casos son biotransformados

Especies hiperacumuladoras

- ***Plantas más utilizadas en fitorremediación (Plantas hiperacumuladoras)***

Las plantas hiperacumuladoras han renovado la tecnología de la fitorremediación con su capacidad innata de absorber metales pesados como Cd, Co, Mn, Ni, Pb, Zn; hasta cien veces más que las plantas promedio debido a su capacidad natural de acumular metales pesados en sus tejidos superficiales sin desarrollar ningún síntoma de toxicidad (Kumar Yadav et al., 2018).

De acuerdo con (Petróleo et al., 2013) antes de considerar el uso de plantas hiperacumuladoras, es indispensable contar con información del sitio, caracterización y el contaminante a tratar. Posteriormente, la tecnología puede elegirse con base en sus costos, disponibilidad de materiales y equipo para realizar el tratamiento. Por lo tanto, se destacan dentro de las especies utilizadas como cultivos (maderables o frutales, ya sean comerciales o en huertos para uso familiar): *Annona reticulata, Byrsonima crassifolia, Cedrela odorata, Cicer arietinum, Citrus aurantium, Citrus limon, Clitoria ternatea, Cocos nucifera, Crataeva tapia, Dolichos lablab, Galega orientalis, Glycine max, Gossypium herbaceum, Hordeum vulgare, Inga inicuil, Inga laurina, Nicotina tabacum, Phaseolus vulgaris, Pisum sativum, Psidium guajava, Sorghum vulgare, Swietenia macrophylla, Tabebuia rosea, Triticum aestivum y Zea mays.*

Descripción de principales características ecológicas de las especies forestales

- ***Pourouma cecropiifolia (Ubilla del monte).***

  Según (Sánchez et al., 2005), *Pourouma cecroppifolia* es una especie nativa Amazónica, con copa poco frondosa, esférica y frecuentemente confundida con árboles del género Cecropia. Está distribuida en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Es un árbol dioico perennifolio de 5 a 15 m de altura y 20 a 40 cm de DAP. Tronco recto y cilíndrico, anillado a intervalos de 10 -15 cm. Hojas simples, alternas con estipulas envolventes. Lamina membranosa, palmatilobulada con 7-12 lóbulos lanceolados hasta de 40 cm de largo y 20 cm de ancho. Pecíolo de 10 - 50 cm de largo. Inflorescencia en panículas axilares con flores unisexuales. Flores masculinas con 4 sépalos libres y con 4 o más estambres minúsculos. Flores femeninas con cáliz entero y campanulado. Ovario úpero unilocular y con un solo óvulo. El fruto es una drupa semejante a una uva, ovoide o esférica de 2-4 cm de largo y de 1-4 cm de diámetro, con una semilla de color pardo de forma acorazonada de base truncada, ápice triangular, testa fibrosa, estriada de 2 cm de largo y 1.5 cm de ancho. La madera es liviana con potencial uso en cajonería, revestimiento de interiores, tableros de aglomerado, pulpa y papel. Es buen combustible y se usa para leña. Es ornamental y se utiliza como árbol de sombra. Es indicada para reforestar cuencas hidrográficas, fomentar la fauna silvestre y por sus frutos con muchas posibilidades de industrialización.

- ***Cecropia peltata*** **(guarumo, yarumo o yagrumo).**

  Es un árbol dioico que crece entre 5-10 m de altura, aunque en sus zonas de origen puede alcanzar más de 20 m, con el tronco derecho, hueco, raíces zancudas o contrafuertes; corteza lisa, gris clara, con grandes cicatrices circulares de las estípulas caídas y abundantes lenticela (Bravo, 2022). Es común en clima cálido, aunque puede llegar a crecer a alturas de más de 2.000 metros en las laderas montañosas, en vegetación pionera y crece en los rastrojos por lo que es ideal para proyectos de reforestación, con yemas de 10-12 cm de largo, cubiertas por una estípula pubescente, caediza y hojas peltadas, redondeadas, coriáceas 40 cm de diámetro, además, tienen el haz áspero al tacto, y el envés blanco-tomentoso, con la nervadura sobresaliente en el envés; seis flores masculinas dispuestas en espigas, una infrutescencia formada por numerosos aquenios muy

pequeños junto con el perianto persistente, con gran capacidad para crecer en sitios erosionados, con historial minero y concentraciones muy altas de Hg disponibles como las encontradas en mina de estudio, sin presentar efectos fitotóxicos considerables (Vidal Durango, 2009). Es un árbol pionero que nace en suelos poco fértiles, es de rápido crecimiento y genera una considerable biomasa en corto tiempo; características que pueden ser útiles para su empleo como planta remediadora (Vidal Durango et al., 2010).

- **Ochroma pyramidale (Balsa).**

  Árbol grande, de copa tipo caliciforme. El fuste es liso y puede presentar gambas. La corteza es lisa, gris, pálida y con cicatrices lineales, pero internamente fibrosa. Presenta un follaje perennifolio, sus hojas son simples y alternas, acorazonadas, de 20 a 40 cm de largo, borde liso y con pelos epidérmicos rojizos. Es una especie hermafrodita, las flores son aromáticas, vistosas, de cinco pétalos, blancas pubescentes y con el cáliz color verde, son polinizadas por insectos nocturnos. Produce frutos secos, tipo cápsula dehiscente, largos y en forma de bastón; son semi leñosos y cilíndricos de 14 a 24 cm de largo recubiertos de lana. De su parecido a patas de liebres o conejos se deriva su nombre científico. Las semillas son abundantes en forma de pequeña gota, ovoides, de 3 a 5 mm de largo, color castaño oscuro y se encuentran envueltas en lana amarillenta y sedosa (Rojas-Rodríguez & Torres-Córdoba, 2009). Ha sido utilizado ancestralmente por los agricultores tradicionales como pieza clave para el acortamiento del período de descanso de sus acahuales, la recuperación de los niveles de materia orgánica del suelo y el control de arvenses, además en Centroamérica *O. pyramidale* se aprovecha comercialmente (madera balsa) y se emplea para la recuperación y rehabilitación de áreas degradadas (Douterlungne, 2005).

- **Tabebuia chrysantha (guayacán).**

  De la familia Bignoniaceae. Crece entre 0-2 000 msnm. Habita en el bosque seco pluvioestacional, bosque seco andino y bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía. Árbol caducifolio, entre 12-20 m de altura y 20-40 cm de DAP. Fuste recto, escasamente ramificado, copa amplia, extendida e irregular. Corteza fisurada pardo-oscuro. Fuste cilíndrico, copa amplia extendida e irregular. Hojas palmadas compuestas, opuestas, ápice agudo y bordes

aserrados, de 5 foliolos, de 6-12 cm de longitud, envés áspero y ligeramente pubescente por el envés. Flor tubular, 5 cm de longitud, con pedúnculo, cáliz de 5 sépalos cafés; corola de 5 pétalos amarillos, en inflorescencia racimosa. Fruto una cápsula cilíndrica pubescente (parecida a una vaina) de 15-30 cm de longitud, verde (tierna) y café (madura), contiene abundantes semillas aladas. Florece dos veces en el año en junio-julio y noviembre-diciembre. Se propaga por semilla y es de lento crecimiento(Wong & Eudocio, 2016).

- **Trichantera gigantea (Nacedero).**

  Es un árbol mediano que alcanza 4-12 m de altura y copa de 6 m de diámetro, muy ramificado. Las ramas poseen nudos muy pronunciados, hojas opuestas aserradas y vellosas verdes muy oscuras por el haz y más claras por el envés; las flores dispuestas en racimos terminales son acampanadas de color amarillo ocre con anteras pubescentes (peludas de allí su género *Trichanthera*) que sobresalen de la corola. El fruto es una cápsula pequeña redonda con varias semillas orbiculares. Son muchos los trabajos adelantados con esta variedad de especie arbórea forrajera en la utilización del nacedero como forraje de producción mixta. Por otro la propagación de *Trichantera* y su distribución ha facilitado la investigación de esta especie. Los nombres "nacedero" y "madre de agua", significan que el árbol crece en los nacimientos de las aguas. El uso más generalizado es como cerca viva y como planta destinada a proteger y mantener nacimientos de agua. También usa como alimento de especies en cautiverio, especialmente mamíferos, usando las hojas como forraje (Romero, 2018).

- **Vochysia leguiana (Tamburo).**

  El árbol alcanza 25 m de altura y 60 cm de diámetro; ramificación verticilada, con ramas horizontales; tronco recto, bien formado; aletones ausentes o alcanzando 50 cm de lato, 15 cm de grosor y 30 cm de ancho en la base. Copa redondeada, globosa, densa. Superficie del tronco parda, lisa o sólo con grietas poco notorias, muy superficiales. Corteza viva de color crema rosada. La corteza en total puede medir hasta 1,2 cm de grosor. Hojas: simples, verticiladas en grupos de 3, acompañadas cada una con un par de estípulas lanceoladas de 2 mm de longitud; hojas jóvenes con abundantes pelitos suaves. Ramitas jóvenes parduscas, con pelitos escasos y con entrenudos bien definidos por las cicatrices

dejadas por las hojas caídas. Flores: En manojos erguidos sobre la copa del árbol, distinguiéndose en cada flor un pétalo de color amarillo vistoso, Fruto: cápsula triangular, alargada. Semillas aladas. Hábitat y distribución: ecuador y Perú, en áreas de bosque húmedo tropical hasta los 1.200 msnm. Aparentemente prefiere suelos bien drenados y no muy compactos (Quemá, 2015).

Al-Rashdi, T. T., & Sulaiman, H. (2013). Bioconcentration of Heavy Metals in Alfalfa (Medicago sativa) from Farm Soils around Sohar Industrial Area in Oman. *APCBEE Procedia*, *5*, 271–278. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.05.047

Al-Sayaydeh, R. S., Al-Hawadi, J. S., Al-Habahbeh, K. A., Al-Nawaiseh, M. B., Albdaiwi, R. N., & Ayad, J. Y. (2022). Phytoremediation Potential of Selected Ornamental Woody Species to Heavy Metal Accumulation in Response to Long-Term Irrigation with Treated Wastewater. *Water (Switzerland)*, *14*(13). https://doi.org/10.3390/w14132086

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

Alsehli, B. R. M. (2021). Evaluation and comparison between a conventional acid digestion method and a microwave digestion system for heavy metals determination in mentha samples by ICP-MS. *Egyptian Journal of Chemistry*, *64*(2), 869–881. https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2020.43322.2874

Arthur, E. L., Rice, P. J., Rice, P. J., Anderson, T. A., Baladi, S. M., Henderson, K. L. D., & Coats, J. R. (2005). Phytoremediation—An Overview. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *24*(2), 109–122. https://doi.org/10.1080/07352680590952496

Bini, C., Maleci, L., & Wahsha, M. (2017). Potentially toxic elements in serpentine soils and plants from Tuscany (Central Italy). A proxy for soil remediation. *CATENA*, *148*, 60–66. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.014

Bortey-Sam, N., Nakayama, S., Ikenaka, Y., Akoto, O., Baidoo, E., Yohannes, Y., Mizukawa, H., & Ishizuka, M. (2015). Human health risks from metals and metalloid via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana: Estimation of the daily intakes and target hazard quotients (THQs). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *111*. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.008

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

Bricker, T. J., Pichtel, J., Brown, H. J., & Simmons, M. (2001). Phytoextraction of Pb and Cd from a superfund soil: Effects of amendments and croppings. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, *36*(9), 1597–1610. https://doi.org/10.1081/ESE-100106245

Buendía, H., Cruz, F., Meza, C., & Arévalo, J. (2014). Fitorremediación De Suelos Contaminados Por Hidrocarburos De Petróleo. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, *I*(30), 114.

Carling, G. T., Diaz, X., Ponce, M., Perez, L., Nasimba, L., Pazmino, E., Rudd, A., Merugu, S., Fernandez, D. P., Gale, B. K., & Johnson, W. P. (2013). Particulate and Dissolved Trace Element Concentrations in Three Southern Ecuador Rivers Impacted by Artisanal Gold Mining. *Water, Air, & Soil Pollution*, *224*(2), 1415. https://doi.org/10.1007/s11270-012-1415-y

Chemistry, C. (n.d.). *Milestone Product Line*.

Chen, G., Wang, X., Wang, R., & Liu, G. (2019). Health risk assessment of potentially harmful elements in subsidence water bodies using a Monte Carlo approach: An example from the Huainan coal mining area, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *171*, 737–745. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.101

Choi, J., Pak, C., & Lee, C. W. (1996). Micro nutrient toxicity in French marigold. *Journal of Plant Nutrition*, *19*(6), 901–916. https://doi.org/10.1080/01904169609365169

Cuenca, C. (2022). *Escuela Superior Politécnica De Historia, Situación Actual Y Desafíos De La Minería Aurífera Artesanal Y Pequeña Escala En La Región Amazónica Del Ecuador*.

De, C., De Rocas, M., Docente, I., & Burbano, D. (2016). *Universidad Central Del Ecuador Facultad De Geología, Minas, Petróleos Y Ambiental Carrera De Minas*.

Demirevska-Kepova, K., Simova-Stoilova, L., Stoyanova, Z., Hölzer, R., & Feller, U. (2004). Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese. *Environmental and Experimental Botany*, *52*(3), 253–266. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.02.004

Domínguez, M. T., Marañón, T., Murillo, J. M., Schulin, R., & Robinson, B. H. (2008). Trace element accumulation in woody plants of the Guadiamar Valley, SW Spain: A large-scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution*, *152*(1), 50–59. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.05.021

Dooyema, C. A., Neri, A., Lo, Y., Durant, J., Dargan, P. I., & Swarthout, T. (2012). *Research | Children ' s Health Outbreak of Fatal Childhood Lead Poisoning Related to Artisanal Gold*. *120*(4), 601–607.

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

Ebbs, S. D., & Kochian, L. V. (1997). Toxicity of Zinc and Copper to Brassica Species: Implications for Phytoremediation. *Journal of Environmental Quality*, *26*, 776–781.

Fang, H., & Cao, M. (2009). Assessment of heavy metals pollution in abandoned lead-zinc mine tailings in Huize of Yunnan Province. *Chinese Journal of Ecology*, *28*, 1277–1283.

Fontes, R. L. F., & Cox, F. R. (1998). Zinc toxicity in soybean grown at high iron

concentration in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, *21*(8), 1723–1730. https://doi.org/10.1080/01904169809365517

Gamalero, E., Lingua, G., Berta, G., & Glick, B. R. (2009). Beneficial role of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on plant responses to heavy metal stress. *Canadian Journal of Microbiology*, *55*(5), 501–514. https://doi.org/10.1139/W09-010

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

Garg, V. K., Yadav, P., Mor, S., Singh, B., & Pulhani, V. (2014). Heavy metals bioconcentration from soil to vegetables and assessment of health risk caused by their ingestion. *Biological Trace Element Research*, *157*(3), 256–265. https://doi.org/10.1007/s12011-014-9892-z

Greksa, A., Ljevnaić-Mašić, B., Grabić, J., Benka, P., Radonić, V., Blagojević, B., & Sekulić, M. (2019). Potential of urban trees for mitigating heavy metal pollution in the city of Novi Sad, Serbia. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(10), 636. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7791-7

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Educational research methodologies (descriptive, experimental, participatory, and action research). *Revista Científica Mundo de La Investigación y El Conocimiento*, *0*(3), 163–173. https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173

Guzmán-Martínez, F., Arranz-González, J. C., García-Martínez, M. J., Ortega, M. F., Rodríguez-Gómez, V., & Jiménez-Oyola, S. (2022). Comparative Assessment of Leaching Tests According to Lixiviation and Geochemical Behavior of Potentially Toxic Elements from Abandoned Mining Wastes. *Mine Water and the Environment*, *41*(1), 265–279. https://doi.org/10.1007/s10230-021-00800-3

Hansen, T. H., Laursen, K. H., Persson, D. P., Pedas, P., Husted, S., & Schjoerring, J. K. (2009). Micro-scaled high-throughput digestion of plant tissue samples for multi-elemental analysis. *Plant Methods*, *5*(1), 1–11. https://doi.org/10.1186/1746-4811-5-12

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

Jiménez, M. N., Bacchetta, G., Casti, M., Navarro, F. B., Lallena, A. M., & Fernández-Ondoño, E. (2011). Potential use in phytoremediation of three plant species growing on contaminated mine-tailing soils in Sardinia. *Ecological Engineering*, *37*(2), 392–398. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.030

Kuhn, R. (2011). No todo lo que brilla es oro: conflictos socio ambientales alrededor de dos proyectos de minería a gran escala en el Ecuador. *Universidad Andina Simón*

Bolívar Sede, 88. http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/2259%5Cnhttp://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/2259/1/T0952-MELA-Kuhn-No todo.pdf

Kumar Yadav, K., Gupta, N., Kumar, A., Reece, L. M., Singh, N., Rezania, S., & Ahmad Khan, S. (2018). Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. In *Ecological Engineering* (Vol. 120, pp. 274–298). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.039

Lewis, S., Donkin, M. E., & Depledge, M. H. (2001). Hsp70 expression in Enteromorpha intestinalis (Chlorophyta) exposed to environmental stressors. *Aquatic Toxicology (Amsterdam, Netherlands)*, *51*(3), 277–291. https://doi.org/10.1016/s0166-445x(00)00119-3

Liu, Z., & Liu, S. (2015). [Development of bioremediation in China--a review]. *Sheng wu gong cheng xue bao = Chinese journal of biotechnology*, *31*(6), 901–916.

Lopera Echavarria, J. D., Ramírez Gómez, C. A., Zuluaga Aristazábal, M. U., & Ortiz Vanegas, J. (2010). El método analítico como método natural. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, *25*(1). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18112179017

Mendoza, B., Almao, L., Marcó Parra, L. M., & Rodríguez, V. (2015). Evaluación de dos métodos de digestión ácida en el análisis de tejido foliar de caña (Saccharum officinarum L.). *Ciencia y Tecnología*, *7*(2), 9–20. https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.98

Mendoza, B., Almao, L., & Rodríguez, V. (2014). Evaluación de dos métodos de digestión ácida en el análisis de tejido foliar de caña (Saccharum officinarum L.). *Ciencia y Tecnología*, *7*(2), 9–20.

Mohanpuria, P., Rana, N. K., & Yadav, S. K. (2007). Cadmium induced oxidative stress influence on glutathione metabolic genes of Camellia sinensis (L.) O. Kuntze. *Environmental Toxicology*, *22*(4), 368–374. https://doi.org/10.1002/tox.20273

Moore, F., Dehbandi, R., Keshavarzi, B., & Amjadian, K. (2016). Potentially toxic elements in the soil and two indigenous plant species in Dashkasan epithermal gold mining area, West Iran. *Environmental Earth Sciences*, *75*(3), 268. https://doi.org/10.1007/s12665-015-5026-y

Mountouris, A., Voutsas, E., & Tassios, D. (2002). Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. *Marine Pollution Bulletin*, *44*(10), 1136–1141. https://doi.org/10.1016/s0025-326x(02)00168-6

Njinga, R. L., & Tshivhase, V. M. (2019). Major Chemical Carcinogens in Drinking Water Sources: Health Implications Due to Illegal Gold Mining Activities in Zamfara State-Nigeria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *111*(1), 737–745. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.101

Núñez-Montoya1, G. O., & M. T. Alarcón-Herrera. (2007). Chihuahuense para uso en fitorremediacion. Evaluation of Three Native Species from the Chihuahuan Desert for use in Phytoremediation. *Terra Latinoamericana*, *25*(1), 35–36.

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

Paredes, P. D., & Rodríguez, J. J. (2020). Revisión sistemática: Especies Vegetales en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados. In *Universidad Andina del Cusco*. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Petróleo, D. E. L., Apoyo, U. N., La, P., & Ecológica, R. (2013). *Artículo divulgativo*. *1997*, 1996–1999.

Presidencia de la Republica. (2017). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente*, *VI*, 286–340. www.lexis.com.ec

Quemá, G. (2015). *Evaluación de características anatómicas, y propiedades físicas - químicas de dos especies forestales de la amazonía Ecuatoriana*. 84.

Rodríguez-Rodríguez, E. F., Neill, D., Alvítez-izquierdo, E., Arroyo-, S. J., & Núñez-zapata, J. A. (2013). *Cordillera Del Cóndor Y Áreas Adyacentes En El Perú , Current Status of the Flora Studies in the Cordillera Del Condor and Adjacent Areas in Peru , 2006*. *1*(1), 101–120.

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

Romero, D. D. (2018). *Tres Especies Forrajeras En San Jose Del Fragua Caqueta*. 66.

Sánchez, D., Arends, E., Villarreal, A., & Cegarra, A. (2005). *Fenologia y caracterizacion de semillas y plantulas de Pourouma cecropiifolia Mart. Phenological aspects and characteristic of seeds and seedlings of Pourouma cecropiifolia Mart*.

SCHNOOR, J. L., LICHT, L. A., McCUTCHEON, S. C., WOLFE, N. L. E. E., & CARREIRA, L. H. (1995). Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants. *Environmental Science & Technology*, *29*(7), 318A-323A. https://doi.org/10.1021/es00007a747

Sodhi-Berry, N., Reid, A., Fritschi, L., Musk, A. B., Vermeulen, R., de Klerk, N., & Peters, S. (2017). Cancer incidence in the Western Australian mining industry (1996-2013). *Cancer Epidemiology*, *49*, 8–18. https://doi.org/10.1016/j.canep.2017.05.001

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

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, T. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA. *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003*, *3399*, 1–578. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/ac

uerdo_ministerial_97a.pdf

Tifarouine, L., Boutahar, L., Benabbou, A., Rguibi Idrissi, H., Bouarakia, O., Benmokhtar, S., El Abidi, A., Fekhaoui, M., & Benhoussa, A. (2022). Evaluation of bioconcentration of trace elements in the Western Mediterranean mouse Mus spretus at two Moroccan wetland sites. *Biologia*, *77*(10), 2843–2855. https://doi.org/10.1007/s11756-022-01110-x

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

Vidal Durango, J. V., Marrugo Negrete, J. L., Jaramillo Colorado, B., & Perez Castro, L. M. (2010). Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia peltata). *Ingeniería y Desarrollo*, *27*, 113–129. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85215207007

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

Wójcik, M., & Tukiendorf, A. (2004). Phytochelatin synthesis and cadmium localization in wild type of Arabidopsis thaliana. *Plant Growth Regulation*, *44*(1), 71–80. https://doi.org/10.1007/s10725-004-1592-9

Wong, H., & Eudocio, E. (2016). Estudio Fenológico de Tabebuia chrysantha (Jacq.) G. Nicholson y Tabebuia billbergii (Bureau & K. Schum.) Standl. en la Reserva Ecológica de Arenillas. *UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja*, 61.

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

Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, *76*(2), 167–179. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007

Yóplac, K. E., Tuesta, O., Pariente, E., & Guzmán, W. (2020). Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú. *Revista Forestal Del Perú*, *35*(1), 31. https://doi.org/10.21704/rfp.v35i1.1474

Zapata, N., Perez, A., Burgess, K., Rea, E., Neill, D., Cevallos, D., Persson, C., & Øllgaard, B. (2021). Pseudolycopodiella iuliformis (Lycopodiaceae, Lycopodielloideae) in Ecuador and Peru; a disjunct species between the Guyana Shield and the Cordillera del Cóndor. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, *42*(2), 133–139. https://doi.org/10.26807/remcb.v42i2.903

Zhan, H., Jiang, Y., Yuan, J., Hu, X., Nartey, O. D., & Wang, B. (2014). Trace metal pollution in soil and wild plants from lead–zinc smelting areas in Huixian County,

Northwest China. *Journal of Geochemical Exploration*, *147*, 182–188. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.10.007

Zhi, W. (2012). Epithermal-porphyry Cu-Mo-Au ploymetal metallogenic system in Machangqing ore field,Yunnan. *Acta Petrologica Sinica*.

Μηχανικων, T. M., Κοκκινου, E., Καραμάνου Ασπασία, Ημοκρατιασ, T. H. Σ. E., Κινδύνων, A., Προστασίας, Π., Ορισμοί, Έ., Ηλία, Π., Δανδουλάκη, M., Γαϊτάνη, I., Veithzal Rivai, D., Thesis, M., Sloane, G. M. T., Pröbstl-Haider, U., Rogers, A. W., Paciarotti, C., Cesaroni, A., Gorlova, N. I., Troska, Z. A., … Perkins, S. E. (2020). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Kaos GL Dergisi*, *8*(75), 147–154. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125798%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.smr.2020.02.002%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/810049%0Ahttp://doi.wiley.com/10.1002/anie.197505391%0Ahttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090409500205%0Ahttp: