UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

PROPUESTAS DE ESPECIES FORESTALES ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS CON POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS EN ÁREAS DE EXTRACCIÓN MINERA.

AUTOR(ES):

María Isabel Masaquiza Jerez

Zuly Monica Grefa Andi

DOCENTE - TUTOR:

Dra. Carolina Bañol Pérez

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

PROPUESTAS DE ESPECIES FORESTALES ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS CON POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS EN ÁREAS DE EXTRACCIÓN MINERA.

AUTOR(ES):

María Isabel Masaquiza Jerez

Zuly Monica Grefa Andi

DOCENTE - TUTOR:

Dra. Carolina Bañol Pérez

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	Cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	3/5	Cumple con la estructura, aunque debe definir las especies con mayor potencialidad en la propuesta de fitorremediación
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	Cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	14/15	Cumple, aunque en los procedimientos para toma de muestras de suelo y hojas se debería sustentar con criterios de autores.

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	Cumple, aunque debería hacer incluido mayor discusión con criterios de autores
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple
VALORACIÓN TOTAL	96	

DICTAMEN

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

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

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
YUDEL GARCIA QUINTANA

Yudel García Quintana

Dado en la ciudad de Puyo, a los 05 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: Propuestas de especies forestales arbóreas y arbustivas con potencial bioacumulador de metales pesados en áreas de extracción minera.		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	1/5	**No cumple** No tomaron en cuenta la observación de incluir la localidad donde fue desarrollado el estudio.
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.	4/5	**No cumple** Presentado de manera adecuada. Sin embargo, se pudo mejorar la redacción.
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.	10/20	**No cumple** Las observaciones no fueron acogidas en su totalidad. En lugar de incrementar oraciones para presentar un párrafo bien estructurado, reducen las oraciones y presenta un párrafo con una oración. Cito "Los aspectos ecológicos de la Amazonía son de gran importancia a nivel mundial, los bosques y lo ríos amazónicos son el hogar de varias especies endémicas muchas de ellas en peligro de extinción, sin embargo, las especies representan soluciones para un conjunto de desafíos biológicos, y cualquiera de ellas tiene un potencial transformador y genera beneficios para los seres humanos en todo el mundo (Lovejoy, 2019)."
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	**Cumple parcialmente** Aborda los temas de manera coherente. Sin embargo, existe mal estructuración de párrafos en ciertas partes.
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.	10/15	**Cumple parcialmente** Existe mal uso de citas bibliográficas.

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.	22/25	**Cumple parcialmente** Bien presentados, aunque en algunas secciones se hacen un tanto confusos. Mal uso de las citas en la discusión. Errores de semántica (palabras sin tilde).
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	8/10	**Cumple parcialmente** Bien presentadas. Aunque, se podía mejorar un poco la redacción.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	**Cumple** Bien presentadas
VALORACIÓN TOTAL	73/100	**Publicable**

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	73/100

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
MANUEL RUBEN DUEÑAS
TITUAÑA

M.Sc. Manuel Rubén Dueñas
Tituaña

Dado en la ciudad de Lago Agrio, a los 07 días del mes de marzo de 2023

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

Puyo, 13 de febrero de 2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a la estudiante: María Isabel Masaquiza Jerez, con C.I. "1805808548, con el Tema:" **Propuestas de especies forestales arbóreas y arbustivas con potencial bioacumulador de metales pesados en áreas de extracción minera**", de la carrera de Ingeniería Forestal.

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, **Carolina Bañol Pérez**, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 5%.

Informe generado con fecha 13 de febrero del 2023 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

CAROLINA BANOL PEREZ

Firmado digitalmente por CAROLINA BANOL PEREZ
Fecha: 2023.02.13 22:07:10 -05'00'

Carolina Bañol Pérez

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

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

Document Information

Analyzed document	Propuestas de especies forestales arbóreas y arbustivas con potencial bioacumulador de metales pesados en areas de extracc ◆◆n minera VF.docx (D158974785)
Submitted	2/14/2023 3:31:00 AM
Submitted by	
Submitter email	cbarrig@uea.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	cbarrig.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE CINCO ESPECIES QUE HABITAN EN ENTORNOS MINEROS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA.docx** Document POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE CINCO ESPECIES QUE HABITAN EN ENTORNOS MINEROS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA.docx (D127158065) Submitted by: yarteaga@uea.edu.ec Receiver: yarteaga.uea@analysis.urkund.com	3
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / DOCUMENTOS URKUND- VIVIANA CHICO.docx** Document DOCUMENTOS URKUND- VIVIANA CHICO.docx (D159090155) Submitted by: yarteaga@uea.edu.ec Receiver: yarteaga.uea@analysis.urkund.com	15
W	URL: https://ntrnc.nottingham.ac.uk/bitstream/handle/internal/69/Polymer%20Retention%20Evaluation.pdf?... Fetched: 12/19/2022 3:44:55 PM	22

Entire Document

Propuestas de especies forestales arbóreas y arbustivas con potencial bioacumulador de metales pesados en áreas de extracción minera

Autor 1 (cbg20170193)

59% **MATCHING BLOCK 1/40** **SA** POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE ... (D127158065)

uea.edu.ec Autor 2 (cbg20170136@uea.edu.ec Autor 3, M. Sc2 autor3@uea.edu.ec Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera Ingeniería Forestal Resumen El

objetivo principal de estudio fue evaluar el potenc al bioacumulador de metales pesados en tres spec es forestales arbustivas (Theobroma cacao (Cacao), Acalypha diversifolia (Ayenillo), Myriocarpa longipes (Ortiga silvestre)) y tres especies arbóreas (Cedrela odorata (Cedro), Croton lechleri (Sangre de drago), Guadua angustifolia (Bambú)), en un área propensa a la m nería lega , cuyas actividades han resultado en un suelo altamente contam nado con metales pesados. Se analizó e factor de bioconcentración de las seis especies en base a la relación de concentraciones de metales pesados en hojas y suelo.

100% **MATCHING BLOCK 2/40** **SA** DOCUMENTOS URKUND- VIVIANA CHICO.docx (D159090155)

Los resultados obtenidos en la concentración de metales pesados a nivel foliar

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

Puyo, 13 de febrero de 2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a la estudiante: Zuly Mónica Grefa Andi, con C.I. "1501034142, con el Tema:" **Propuestas de especies forestales arbóreas y arbustivas con potencial bioacumulador de metales pesados en áreas de extracción minera**", de la carrera de Ingeniería Forestal.

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, **Carolina Bañol Pérez**, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 5%.

Informe generado con fecha 13 de febrero del 2023 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

CAROLINA BANOL PEREZ

Firmado digitalmente por CAROLINA BANOL PEREZ
Fecha: 2023.02.13 21:52:08 -05'00'

Carolina Bañol Pérez

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

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

Document Information

Analyzed document	Propuestas de especies forestales arbóreas y arbustivas con potencial bioacumulador de metales pesados en areas de extracc ◆◆n minera VF.docx (D158974785)
Submitted	2/14/2023 3:31:00 AM
Submitted by	
Submitter email	cbarrig@uea.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	cbarrig.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE CINCO ESPECIES QUE HABITAN EN ENTORNOS MINEROS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA.docx** Document POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE CINCO ESPECIES QUE HABITAN EN ENTORNOS MINEROS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA.docx (D127158065) Submitted by: yarteaga@uea.edu.ec Receiver: yarteaga.uea@analysis.urkund.com	3
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / DOCUMENTOS URKUND- VIVIANA CHICO.docx** Document DOCUMENTOS URKUND- VIVIANA CHICO.docx (D159090155) Submitted by: yarteaga@uea.edu.ec Receiver: yarteaga.uea@analysis.urkund.com	15
W	URL: https://ntrnc.nottingham.ac.uk/bitstream/handle/internal/69/Polymer%20Retention%20Evaluation.pdf?... Fetched: 12/19/2022 3:44:55 PM	22

Entire Document

Propuestas de especies forestales arbóreas y arbustivas con potencial bioacumulador de metales pesados en áreas de extracción minera

Autor 1 (cbg20170193)

59% **MATCHING BLOCK 1/40** **SA** POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE ... (D127158065)

uea.edu.ec Autor 2 (cbg20170136@uea.edu.ec Autor 3, M. Sc2 autor3@uea.edu.ec Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera Ingeniería Forestal Resumen El

objetivo principal de estudio fue evaluar el potenc al bioacumulador de metales pesados en tres spec es forestales arbustivas (Theobroma cacao (Cacao), Acalypha diversifolia (Ayenillo), Myriocarpa longipes (Ortiga silvestre)) y tres especies arbóreas (Cedrela odorata (Cedro), Croton lechleri (Sangre de drago), Guadua angustifolia (Bambú)), en un área propensa a la m nería lega , cuyas actividades han resultado en un suelo altamente contam nado con metales pesados. Se analizó e factor de bioconcentración de las seis especies en base a la relación de concentraciones de metales pesados en hojas y suelo.

100% **MATCHING BLOCK 2/40** **SA** DOCUMENTOS URKUND- VIVIANA CHICO.docx (D159090155)

Los resultados obtenidos en la concentración de metales pesados a nivel foliar

Propuestas de especies forestales arbóreas y arbustivas con potencial bioacumulador de metales pesados en áreas de extracción minera.

María Isabel Masaquiza 1 [1]
for2017116@uea.edu.ec

Zuly Monica Grefa Andi 2[1]
for2017037@uea.edu.ec

Carolina Bañol Pérez, Dra [2]
cbanol@uea.edu.ec

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

Resumen

El objetivo principal de estudio fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados en tres especies forestales arbustivas (*Theobroma cacao* (Cacao), *Acalypha diversifolia* (Arenillo), *Myriocarpa longipes* (Ortiga silvestre)) y tres especies arbóreas (*Cedrela odorata* (Cedro), *Croton lechleri* (Sangre de drago), *Guadua angustifolia* (Bambú)) en la zona Simón Bolívar, el Capricho, del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo, área donde existió minería de forma ilegal y, donde estas actividades han originado un suelo altamente contaminado con metales pesados. Se analizó el factor de bioconcentración de las seis especies en base a la relación de concentraciones de metales pesados en hojas y suelo. Los resultados obtenidos en la concentración de metales pesados a nivel foliar revelaron que el Hierro (Fe) en las especies de *A. diversifolia* y *C. odorata* obtuvieron mayores concentraciones con valores de 150 mg/kg, mientras que *M. longipes, C. lechleri* y *T. cacao* presentaron un menor valor (70 mg/kg). En cuanto a las concentraciones de metales pesados en el suelo, el Hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Plomo (Pb) mostraron que la *C. odorata* tuvo los valores más altos y la *A. diversifolia* los más bajos. Mediante el factor de bioconcentración (FBC), la especie *A. diversifolia* presentó el mayor potencial de absorción de Fe, Cu y Pb, mostrando diferencias significativas con valores elevados con respecto a las otras especies, indicando una mayor capacidad de bioacumulación de los elementos y permitiendo su uso como especie fitorremediadora en áreas contaminadas con metales pesados. Estos resultados serían la base para fundamentar las propuestas de remediación de suelos mediante las especies potenciales, y así reducir los elementos tóxicos en el área de estudio.

***Palabras claves*:** hoja, suelo, metal pesado, bioacumulación, fitorremediación.

Abstract

The main aim of the study was to evaluate the bioaccumulative potential of heavy metals in three shrub forest species (*Theobroma cacao* (Cacao), *Acalypha diversifolia* (Arenillo*), Myriocarpa longipes* (Wild nettle)) and three tree species (*Cedrela odorata* (Cedar), *Croton lechleri* (Sangre drago), *Guadua angustifolia* (Bamboo)) in the Simón Bolívar area, El Capricho, Cantón Carlos Julio Aremena Temena, Croton lechleri (Sangre de drago), Guadua angustifolia (Bamboo)) in the Simón Bolívar area, El Capricho, Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Napo Province, an area where illegal mining activities have caused a soil highly contaminated with heavy metals. The bioconcentration factor of the six species was analyzed based on the ratio of heavy metal concentrations in leaves and soil. The results obtained in the concentration of heavy metals at leaf level revealed that iron (Fe) in *A. diversifolia* and *C. odorata* species obtained higher concentrations with values of 150 mg/kg, while *M. longipes, C. lechleri* and *T. cacao* presented a lower value (70 mg/kg). As for the results of heavy metal concentrations in the soil, iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and lead (Pb) showed that *C. odorata* had the highest values and *A. diversifolia* obtained the lowest results. By means of the bioconcentration factor (BCF), the species *A. diversifolia* presented the highest potential for absorption of Fe, Cu and Pb, showing significant differences with high values with respect to the other species, indicating a greater capacity for bioaccumulation of the elements and allowing its use as a phytoremediation species in areas contaminated with heavy metals. These results would be the basis for soil remediation proposals using potential species to reduce toxic elements in the study area.

Keywords: leaf, soil, heavy metal, bioaccumulation, phytoremediation

1. Introducción

Los aspectos ecológicos de la Amazonía son de gran importancia a nivel mundial, los bosques y lo ríos amazónicos son el hogar de varias especies endémicas muchas de ellas en peligro de extinción, sin embargo, las especies representan soluciones para un conjunto de desafíos biológicos, y cualquiera de ellas tiene un potencial transformador y genera beneficios para los seres humanos en todo el mundo (Lovejoy, 2019).

En la actualidad a nivel mundial la contaminación de suelos y tejidos foliares por metales pesados a causa de la actividad minera está en aumento, produciendo uno de los problemas ambientales más graves causados por la actividad antrópica (Rodríguez Eugenio, McLaughlin, & Pennock, 2019). Sin embargo, el suelo y los cursos de agua están siendo

afectados por los desperdicios que produce la actividad minera, la población permanentemente está expuesta al polvo ocasionado por las canteras y al transporte del material (Caiza, 2022).

A partir de los estudios del potencial bioacumulador de especies forestales arbóreas y arbustivas, estas resultan como una herramienta factible para aportar con soluciones a esta problemática, además, muchas de las especies de plantas tienen cierta capacidad para realizar la bioacumulación de metales y otros contaminantes, que por lo general variarán según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes, estos comportamientos de la planta frente a los metales pesados también dependerán de cada metal (Solis Dufflocq, 2020).

Estas especies son capaces de absorber y almacenar aquellos metales, por lo que reciben el nombre de hiperacumuladoras que, por lo general se encuentran en los suelos con alto contenido de metales por condiciones geoquímicas naturales (Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra, & Acevedo-Sandoval, 2011). También, estas plantas generalmente presentan poca biomasa ya que utilizan más energía en los componentes necesarios para acostumbrarse a las grandes cantidades de concentraciones de metal dentro de sus tejidos (Cahuana & Aduvire, 2019). Las plantas acumuladoras juegan un papel muy importante al disminuir o aumentar la toxicidad del suelo, y dependen de ciertos mecanismos de selectividad de las especies (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera, 2006). Los principales metales pesados que ayudan en el metabolismo de las especies de plantas son magnesio (Mn), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo), a diferencia de otros elementos, que son fitotóxicos (arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb)) (Solis Dufflocq, 2020). Además, estos metales se consideran como elementos pesados y pueden ser acumulados en diferentes órganos dependiendo a la movilidad en la planta, también existe un grupo de metales pesados que se establecen de mayor riesgo (Cd, Co, Se), sin embargo, las concentraciones de estos elementos no son toxicas para la planta, pero si es toxica para los seres humanos y animales (Solis Dufflocq, 2020).

Por ello las actividades de extracción minera realizada en la zona Simón Bolívar, el Capricho del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo han afectado altamente los bosques; la deforestación y la aglomeración de relaves a gran escala de la grava lavada han incrementado la contaminación del suelo y el agua, y por no contar con ningún tipo de procedimiento técnico (Prefectrura de Napo, 2020).

Por lo tanto, en la presente investigación el principal objetivo fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados en tres especies de plantas arbustivas (*Theobroma cacao* L.,

1753 (Cacao), *Acalypha diversifolia* J., 1797 (Arenillo), *Myriocarpa longipes* L., 1851 (Ortiga silvestre)) y tres arbóreas (*Cedrela odorata* L., 1959 (Cedro), *Croton lechleri* M., 1999 (Sangre de drago), *Guadua angustifolia* K., 1822 (Bambú)), como especies fitoremediadoras en áreas de la Amazonía que han sido contaminados por la extracción minera.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El presente trabajo se realizó a 300 m de una zona minera donde se realizan actividades ilegales de oro, este lugar está ubicado en la zona Simón Bolívar, el Capricho, del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo, Ecuador, colectando muestras de hojas y suelo de las seis especies ubicadas a la orilla del río Puno (Figura 1). El aspecto del clima varía entre templado permanente húmedo (90%) de las alturas serranas, su temperatura oscilar entre 22°C y 25 °C, con una precipitación media anual cuyos promedios están entre 3800 a 4500 msnm (Salazar, 2013).



Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio perteneciente a la parroquia Capricho, Napo. Elaborado por: Zuly Grefa y María Masaquiza.

2.2 Tipo de investigación

La presente investigación es de carácter descriptivo y analítica. La investigación descriptiva busca detallar las propiedades, características y tendencias de cualquier fenómeno, su propósito no se limita a la recolecta de datos, sino al pronóstico y el reconocimiento sobre aquellas relaciones que existen ya sea de dos o más variables (Tinto Arandes, 2013). Por lo consiguiente, se describió el comportamiento bioacumulador de metales pesados de varias especies de estudio.

El tipo de investigación analítica permitió determinar los metales pesados presentes en el suelo y hojas de las especies seleccionadas para conocer qué tipo de metal absorbe las diferentes especies, facilitando el análisis e interpretación del potencial bioacumulador de metales pesados para su recomendación como especies con potencial fitorremediador.

2.3 Muestreo de material vegetal y suelo

Se seleccionaron seis especies forestales 3 arbustivas y 3 arbóreas para el estudio, estas fueron encontradas en la zona Simón Bolívar a la orilla del río Puno, cercana a la extracción minera, se eligieron tomando en cuenta los criterios de alta importancia económica y ecológica, las cuales fueron: *C. odorata* (Cedro), *C. lechleri* (Sangre de drago), *G. angustifolia* (Bambú), *T. cacao* (Cacao), *A. diversifolia (Arenillo), M. longipes* (Ortiga silvestre), estas especies son de rápido crecimiento, fácil adaptabilidad y de amplia distribución en la región amazónica, así como también por la capacidad de regenerarse de forma natural.

Las especies seleccionadas en el estudio fueron identificadas en campo con el nombre popular con la ayuda de un técnico del CEIPA (Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica- UEA) y la identificación taxonómica de cada especie se realizó mediante bibliografía especializada (Libro de Árboles de Ecuador (Palacios, 2016), Guía fotográfica de árboles de la Amazonía peruana (Flores Bendezú, 2020) y recursos virtuales (The Plant List, 2019)).

La selección del material vegetal se dio mediante la recolección de hojas adultas y jóvenes de los árboles que estuvieron expuestos al sol, se seleccionaron hojas de diferentes ramas alrededor de toda la copa de la planta, que estuvieron en un buen estado físico, es decir, sin daños mecánicos ni presencia de plagas y enfermedades visibles. Las muestras fueron etiquetadas y trasladadas al laboratorio para el análisis de metales pesados.

Las muestras del suelo se tomaron en tres puntos diferentes alrededor de la base del tronco de los árboles seleccionados, a una profundidad de 0-30 cm en un radio de

aproximadamente 30 cm del árbol, con el barreno. Posteriormente, se eliminaron hojarascas y raíces de la muestra de suelo. Las muestras fueron etiquetas y trasladadas al laboratorio para su posterior procedimiento de análisis de hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb).

2.4 Análisis de metales pesados en muestras de hojas y suelo

Las muestras de las plantas recolectadas se sometieron a una estufa a condición de 60ºC por 72 horas. Las muestras secas (hojas y suelos) se colocaron en sus respectivos recipientes donde se trituraron hasta obtener una sustancia fina de partículas menores a 2mm.

La preparación de las muestras vegetales se realizaron 3 réplicas (R1, R2, R3), y para la muestra del suelo solo se realizó una réplica, sin embargo, estas muestras fueron procesados con el mismo método, los cuales estas muestras llevaban un vial previamente etiquetado. Seguidamente se procedió a pesar 0.5g de muestra del suelo y hoja (seca y molida), también se procedió a pesar 1mL de peróxido de hidrogeno y 7mL de ácido nítrico a las cuales se colocó en un pocillo de microondas (PM), para luego ser cerrada herméticamente con la ayuda de un brazo ajustador, para posteriormente ser colocado en el equipo digestor microondas con el fin de realizar la digestión, una vez listo el material se enfrió y seguidamente se colocó la muestra dirigida en un matraz de 50ml y se llevó a un volumen con AN 1M al cual se procedió a tapar y agitar para realizar una mescla homogénea con el fin de proceder a realizar la filtración.

Una vez filtradas las muestras liquidas de hojas y suelos, se procedió a preparar las muestras para medir la curva de calibración con estándar de 50 mg/L o PPM, 10 mg/L o PPM, pero a un volumen con agua desionizada a las cuales se tapó y se agitó y de esta misma forma se procedió a realizar la preparación del Blanco (Ácido nítrico 1M), en estándar # 1,2 y 3, en el que al estándar # 1 se midió 2,5 mL de estándar de 10 PPM y se colocó en un matraz de 50 mL, esto para llevar a volumen con AN1M, así mismo continuación, lo tapamos y lo agitamos. Este mismo método lo aplicamos para las preparaciones de los estándares 2 y 3 pero con un volumen de 10 y 20 mL. Una vez finalizado con las muestras de la preparación de estándares y de las muestras liquidas de hojas y suelos a base de filtración procedimos a llevar las muestras al equipo de Espectrofotómetro AA y abrimos el software WIBLAB 32 versión 2022 para crear el método y seguir las indicaciones del equipo para leer los estándares para generar la curva de calibración y así proceder a leer las muestras para obtener la concentración del analítico en PPM en longitudes de onda de 324,8 nm para Cu(cobre), 248,3 para Fe(hierro), 213,9nm para el Zn(zinc) y 283,3 nm para el Pb(plomo), una vez realizado estos pasos se obtuvo el resultado final de los metales pesados requeridos.

2.5 Factor de Bioconcentración (FBC)

El FBC se utiliza para medir la capacidad de una planta para capturar un metal en relación con su concentración en el suelo (desde el lado radial y aéreo), como medida de la eficiencia de la acumulación de metales en la biomasa, los valores superiores a 1 indican que una especie es potencialmente hiperacumuladoras, mientras que las especies excluidas tiene un FBC inferior a 1, con valores menores que indican una mayor capacidad de exclusión (Medina Marcos & Montano Chávez, 2013). Por lo tanto, se utilizó el FBC para calcular la cantidad de metales pesados retenidos y acumulados para cada especie arbórea, así:

$$FB = {C_{follaje}}/{C_{suelo}} \qquad \textbf{(Ecuación 1)}$$

Donde C follaje y C suelo representan la concentración de un elemento específico en el material vegetal (follaje) y del suelo, respectivamente.

2.6 Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple con un nivel de significación de $P \leq 0,05$ con el objetivo de encontrar diferencias significativas entre cada uno de los metales pesados (Cu, Fe, Zn, Pb) y las especies estudiadas (*C. odorata*, *C. lechleri*, *G. angustifolia*, *T. cacao*, *A. diversifolia* y *M. longipes*), además se realizó la matriz de correlación de Pearson para establecer la similitud entre la capacidad de absorción de metales pesados de las especies y lograr determinar las correlaciones en aquellas concentraciones de metales pesados que fueron analizados en las plantas y el suelo.

También se procedió a realizar el análisis Clúster (de conglomerados) con el objetivo de clasificar en grupos los metales pesados en las especies estudiadas y posteriormente se analizaron los componentes principales (PCA) con el fin de encontrar cuantos componentes son capaces de explicar la variabilidad total de los datos y establecer la separación de las plantas analizadas en dependencia de las concentraciones de los metales pesados. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el software Origin 2022.

3. Resultados y discusión

3.1 Concentración de metales pesados en hojas y suelo

Los resultados obtenidos en la concentración de metales pesados a nivel foliar revelaron diferencias significativas ($P< 0,05$) (Fig. 2) según la prueba de ANOVA para Fe, Zn, Cu, Pb en las seis especies de estudio (*T. cacao, A. diversifolia, M. longipes, C. odorata, C. lechleri, G. angustifolia*). Las especies *A. diversifolia* y *C. odorata* obtuvieron mayor concentración de Fe con un valor de 150 mg/kg, mientras que *M. longipes, C. lechleri y T. cacao* presentaron un valor menor (70 mg/kg).

La concentración en Zn foliar la especie *T. cacao* presentó los valores más altos de 125 mg/kg, y las especies *A. diversifolia, M. longipes, G. angustifolia, C. odorata, C. lechleri* indicaron valores más bajos de 25 mg/kg. En cuanto Cu las especies *T. cacao y C. lechleri* indican mayor valor de 11,40 mg/kg y las especies *A. diversifolia y C. odorata* presentaron valores medios de 10,35 mg/kg, mientras que las especies *M. longipes y G. angustifolia* obtuvieron valores bajos de 8,50 mg/kg, a su vez la concentración Pb en las especies *A. diversifolia y M. longipes* indican mayor valor de 4,5 mg/kg y las especies *G. angustifolia, C. lechleri, C. odorata presentaron* valores más bajos de 1,5 mg/kg.

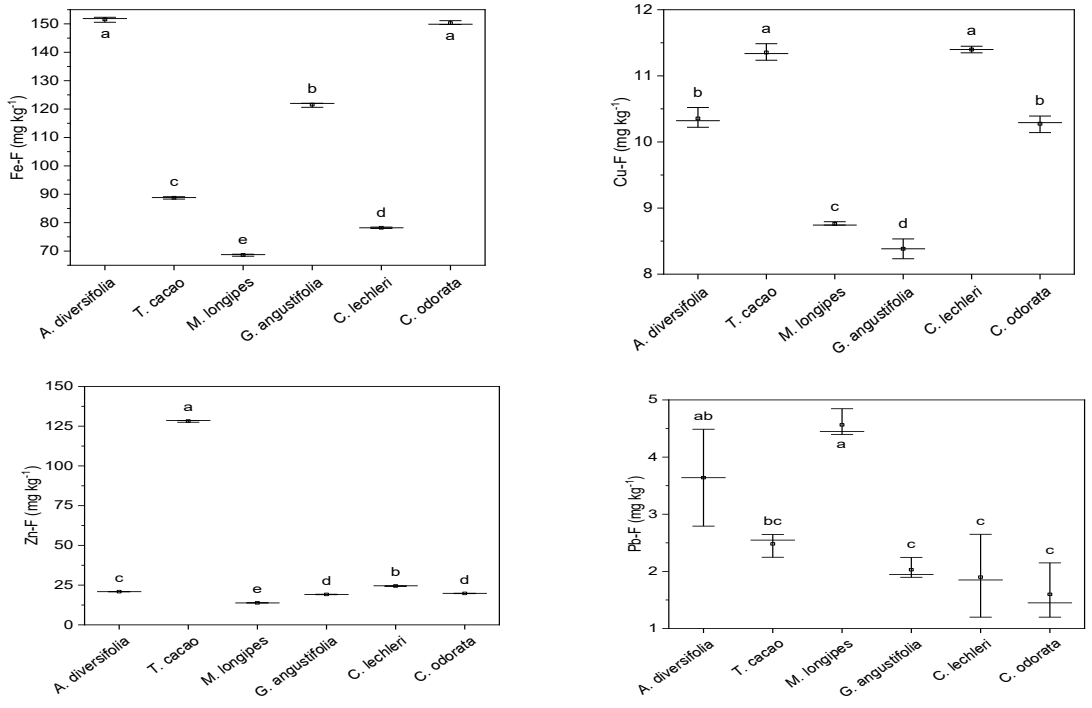

Figura 2. Análisis de varianza ANOVA ($P < 0,05$) de la concentración de los metales pesados (a) Fe, (b) Zn, (c)Cu y (d) Pb, presentes en las hojas de las especies *T. cacao*, *A. diversifolia*, *M. longipes, C. odorata*, *C. lechleri*, y *G. angustifolia* (letras iguales presentan diferencias significativas, letras desiguales no presentan diferencias significativas).

Estos resultados demostraron el potencial de las especies *A. diversifolia* y *C. odorata* para la acumulación foliar de metales pesados como Fe y Zn y de *T. cacao* para Cu y Pb.

Las concentraciones de metales pesados Fe, Zn, Cu y Pb presentes en el suelo donde se desarrollaron las especies *T. cacao*, *A. diversifolia*, *M. longipes, C. odorata*, *C. lechleri*, y *G. angustifolia* mostraron diferencias significativas ($P< 0,05$) en las concentraciones de metales pesados a nivel de suelo (Fig. 3), indicando un patrón de variación en el nivel de especies similar a lo encontrado en el análisis foliar. En cuanto al comportamiento de Fe, Zn, Cu y Pb, los resultados mostraron que el suelo donde crece *C. odorata* tuvo los valores más altos y *A. diversifolia* los más bajos, mientras que los valores de concentración de Fe fueron más altos en *T. cacao* y más bajo en *A. diversifolia.* La concentración de Pb a nivel del suelo varió entre 28 y 30 mg/kg, las concentraciones de Cu variaron de 10 a 44 mg/kg, las concentraciones de Zn variaron de 31 a 89 mg/kg, y las concentraciones de Fe variaron de 1357 a 1552 mg/kg.

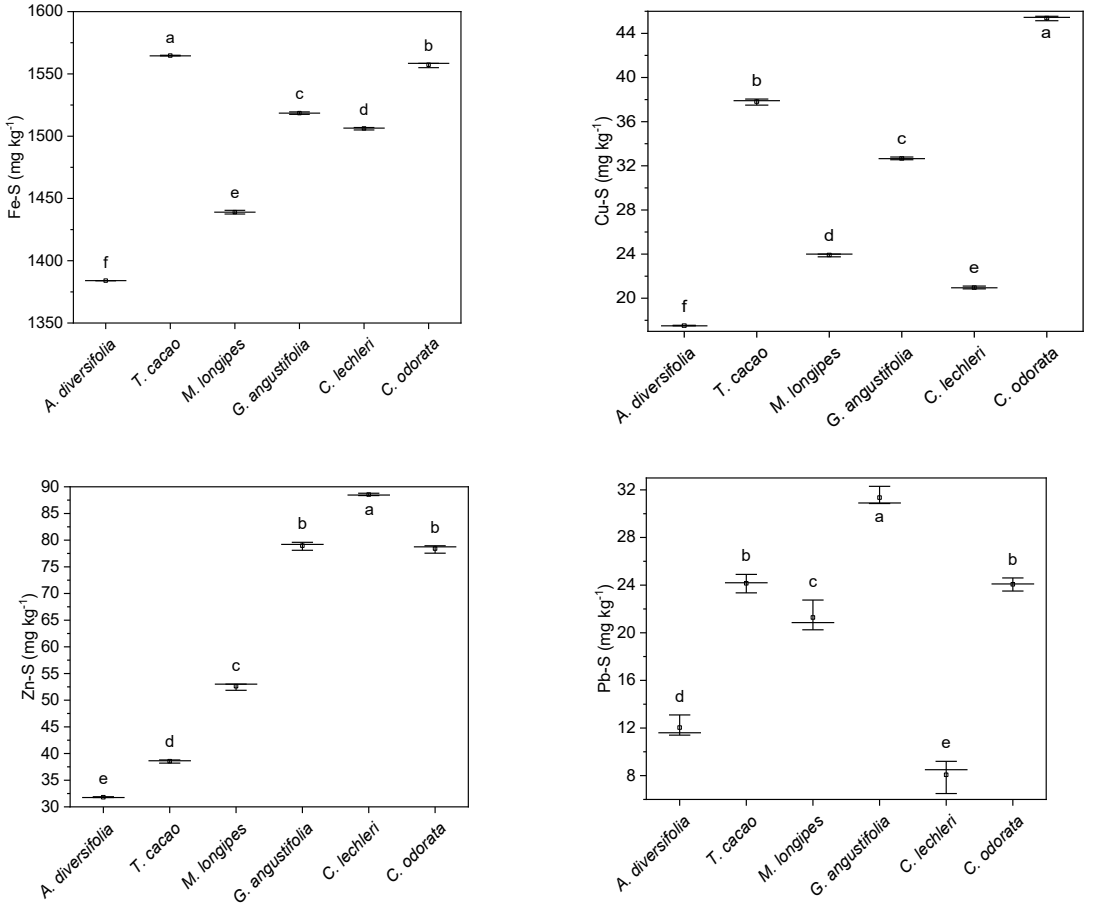

Figura 3. Resultados del análisis de varianza ANOVA ($P < 0,05$) de la concentración de los metales pesados (a) Fe, (b) Zn, (c)Cu y (d) Pb, presentes en las hojas de las especies *T. cacao*, *A. diversifolia*, *M. longipes, C. odorata*, *C. lechleri*, y *G. angustifolia* (letras desiguales no presentan diferencias significativas).

3.2 Factor de Bioconcentración (FBC)

Posteriormente, se presentan los resultados en cuanto al factor de bioconcentración de las especies *T. cacao*, *A. diversifolia*, *M. longipes, C. odorata*, *C. lechleri*, y *G. angustifolia* para los metales Fe, Zn, Cu y Pb. La especie *T. cacao* presentó la mayor capacidad de acumulación de Zn con valor de 3,35 mg/kg, lo que también indica su posible uso en zonas con alto contenido de metales de Zinc. De la misma forma la especie *A. diversifolia* presentó el mayor potencial de absorción de Fe, Cu y Pb, mostrando diferencias significativas con valores elevados con respecto a otras especies (Fig. 4), indicando una mayor capacidad de bioacumulación de los elementos y permitiendo su uso como especie fitoremediadora en áreas contaminadas con Fe, Cu y Pb.

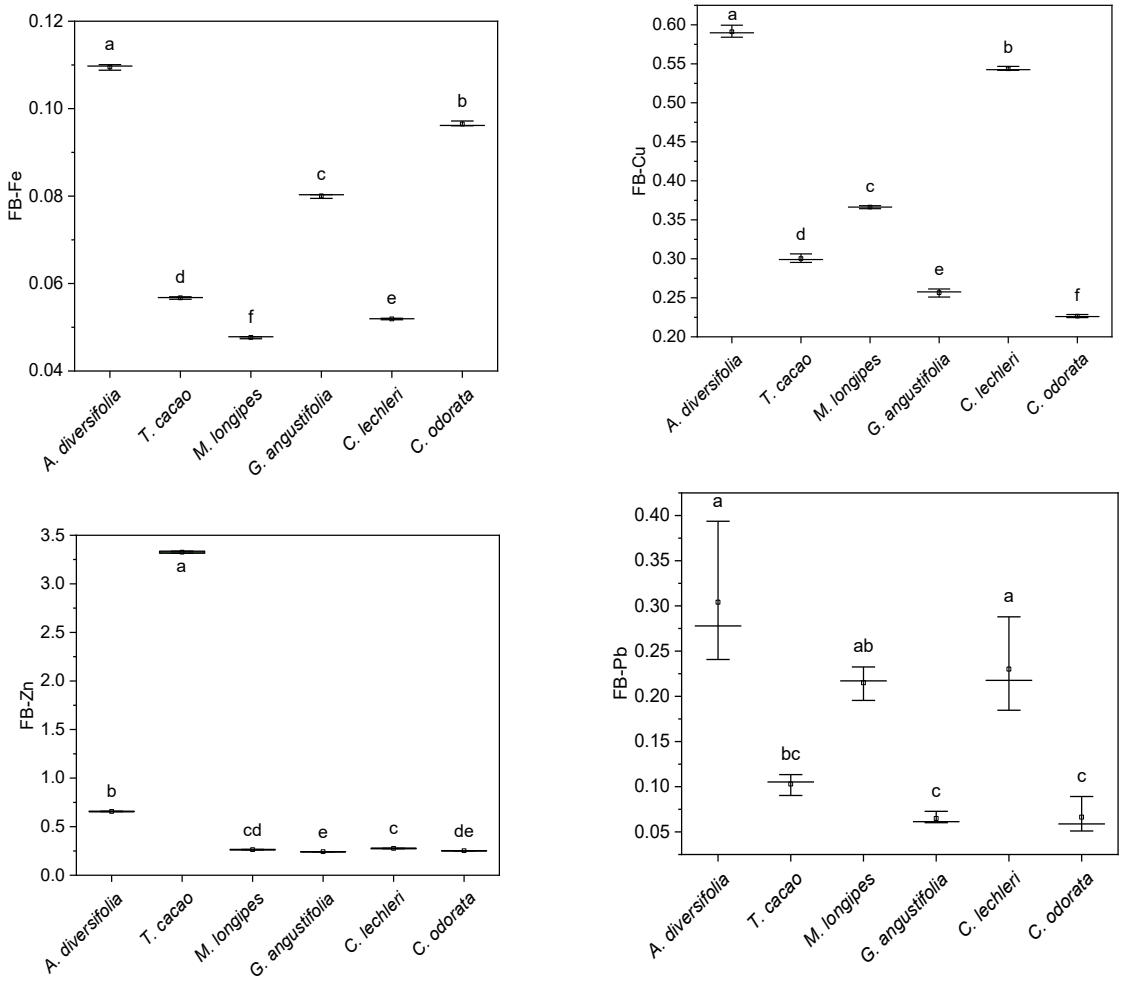

Figura 4. Resultados del análisis de varianza ANOVA ($P < 0,05$) para factores de bioconcentración de metales pesados (a) Fe, (b) Zn, (c)Cu y (d) Pb, de las especies *T. cacao*, *A. diversifolia*, *M. longipes, C. odorata*, *C. lechleri*, y *G. angustifolia* (letras desiguales no presentan diferencias significativas).

3.3 Capacidad de absorción de metales pesados de las plantas y el suelo

Los resultados del coeficiente de correlación de Pearson (Fig. 5), muestran una correlación positiva y negativa, porque a medida que aumenta el valor de un metal, el valor de otro metal disminuye cerca o superior al 50% en la concentración de metales pesados en las hojas y suelo. Se da a conocer las correlaciones positivas de la parte foliar entre Zn-F y Cu-F (r=0,54) y las correlaciones positivas cercanas al 50% de los elementos de suelo fueron entre Cu-S y Fe-S (r=0,84) y Pb-S y Cu-S (r= 0,7).

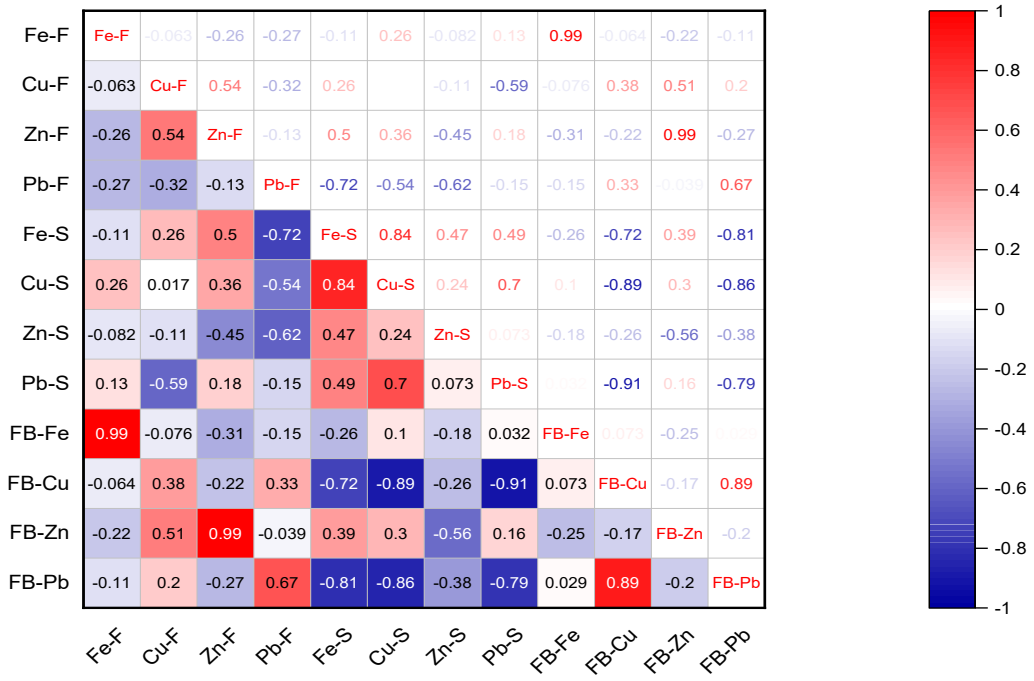

Figura 5. Correlación entre la concentración de metales pesados en las hojas de las especies analizadas y el suelo (el valor numérico corresponde al coeficiente de correlación de Pearson).

3.4 Análisis Clúster

El análisis Clúster agrupó todas las especies estudiadas en tres grupos según la concentración de los metales pesados (Fe, Zn, Cu y Pb) en las hojas (Fig. 6). La concentración de Fe, Zn en hojas de *A. diversifolia, C. odorata, A. diversifolia, T. cacao* formaron un grupo, mientras que las concentraciones de Fe en las especies de *T. cacao, M. longipes, C. lechleri* formaron el segundo grupo y finalmente el tercer grupo lo conformaron las concentraciones de Cu, Pb, Zn en todas las especies analizadas. Estos agrupamientos permitieron clasificar las especies según su capacidad para acumular diferentes metales pesados, facilitando su selección como especies fitorremediadoras en terrenos contaminados por la minería.

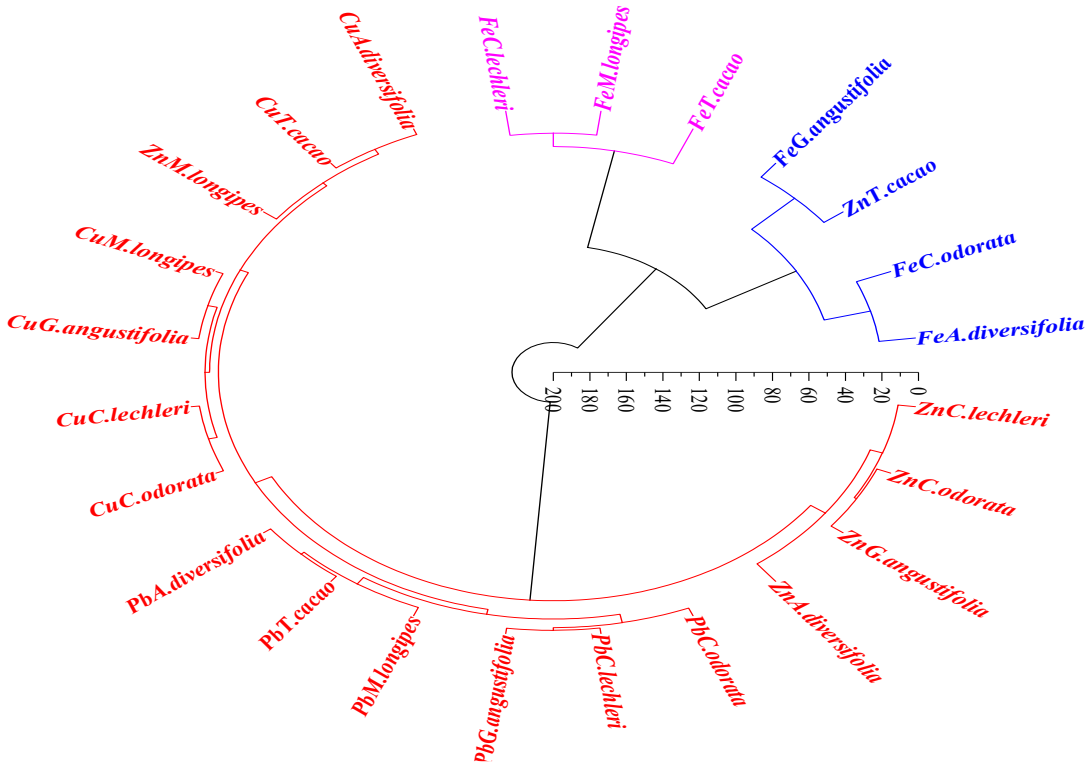

Figura 6. Análisis clúster a partir de la concentración de metales pesados (Fe, Zn, Cu, Pb) en hojas de las especies *T. cacao*, *A. diversifolia*, *M. longipes, C. odorata*, *C. lechleri*, y *G. angustifolia*.

3.4 Análisis de componentes principales (PCA)

De acuerdo con los valores propios de la matriz de correlación de metales pesados investigadas y utilizando el método de análisis de componentes principales (PCA) (Fig. 7), el conjunto inicial de los datos se simplificó a dos componentes principales que explican el 62.97 % de la variabilidad total de los datos. De acuerdo con el análisis de PCA, reportó las concentraciones de Zn, Cu y Pb en foliares menores a la Fe del PC1.

El sistema de coordenadas definido por los componentes principales permite determinar que en el eje PC2 se separa la especie *A. diversifolia,* que se encuentra en el lado positivo del eje, con valores menores de concentración de Zn y Cu en el suelo y con mayor concentración de Zn en planta, mientras que la especie *T. cacao* se encontró en el lado negativo del eje, y se caracterizó por presentar mayores concentraciones de Fe en el suelo, sin embargo, la especie *G. angustifolia* presentó mayor relación de Pb en el suelo en el eje positivo.

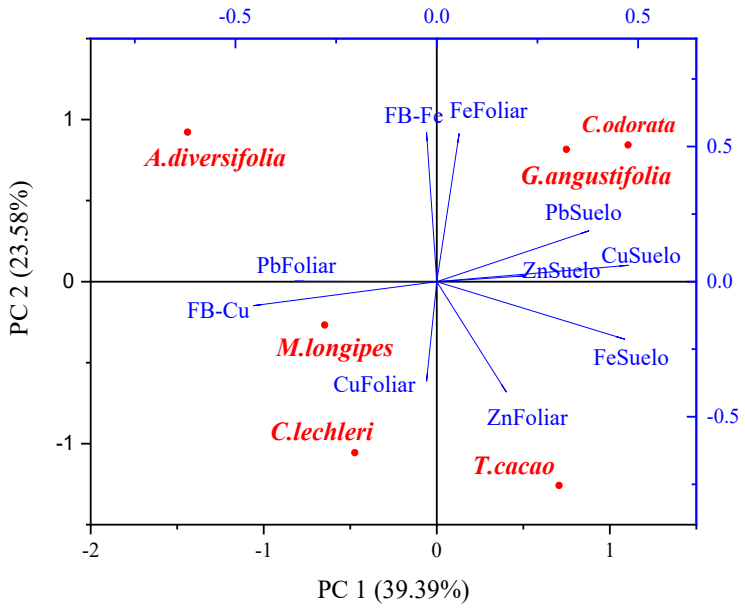

Figura 7. Resultados del análisis de PCA de concentración de metales pesados (Fe, Zn, Cu, Pb) en muestras de hojas y suelo de las especies *T. cacao*, *A. diversifolia*, *M. longipes, C. odorata*, *C. lechleri*, y *G. angustifolia*.

Las plantas que pueden absorber y acumular metales más de lo normal que las otras especies en los mismos suelos se denominan hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos ricos en metales debido a las condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénicas, sin embargo las hiperacumuladoras tienden a tener una biomasa baja porque utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metales en sus tejidos (Cahuana & Aduvire, 2019). Además, la mayoría de los metales tienden a ser más accesibles a valores de pH ácidos, lo que permite predecir si existe condiciones favorables para la acumulación de metales pesados en los sitios muestreados (Guerrero Useda & Pineda Acevedo, 2016). Los metales acumulados en la superficie de la tierra se agotan lentamente por lixiviación, consumo de plantas, erosión y deflación y la extracción aumenta la cantidad de micronutrientes en el suelo, convirtiéndolos en niveles de macronutrientes que afectan negativamente la biota y la calidad del suelo, afectan la abundancia, diversidad y función de los organismos del suelo y evitan la descomposición de la materia orgánica del suelo (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, 2006). No obstante, el Fe mostró mayor concentración de metales pesados. Según Cahuana et al. (2019) dan a conocer que la concentración de Cd supero los valores permisibles (0.5 a 1.5 mg/kg), Ni y Fe no se encontraron regulados. Sin embargo, los valores que los distintos organismos aportan en

relación son muy variados que manejan rangos entre 100 y 1000 ppm para las superficies, clasificándolas como lugares excesivamente tóxicos (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, 2006).

4. Conclusiones

El análisis de material foliar de seis especies forestales que habitan principalmente en zonas mineras en la región amazónica del Ecuador, así como muestras de suelo donde crece cada especie, permitieron identificar las especies que tienen potencial bioacumulador de Pb, Cu, Zn y Fe, con el fin de reducir la posibilidad de contaminación por uno o más de estos elementos en el ambiente donde habitan.

La capacidad de bioacumulación de metales pesados de Fe, Pb, Zn y Cu de seis especies *T. cacao*, *A. diversifolia*, *M. longipes, C. odorata*, *C. lechleri*, y *G. angustifolia,* obtenido a partir del factor de bioconcentración, facilita la propuesta fitorremediadoras para áreas contaminadas por prácticas mineras en el sector Ila, Napo, como una forma de reducir los impactos ambientales en regiones con importantes reservas forestales.

Las especies *A. diversifolia* y *C. odorata* exhibieron una mayor capacidad de absorción de metales pesados como Fe y Zn, con diferencias significativas entre ellas y las demás especies estudiadas. Esto indica que tiene una alta capacidad de bioacumulación que pueden usarse como una especie fitorremediadora en áreas contaminadas con estos metales pesados.

No existe una fuerte correlación entre los elementos del suelo y las hojas, lo que indica que la capacidad de bioconcentración de la especie vegetal determina la cantidad de absorción. Estos hallazgos sirven como un primer intento para identificar especies potencialmente problemáticas según el contaminante en las áreas de extracción minera.

5. Bibliografía

Lovejoy, T. (2019). Por qué la biodiversidad de la Amazonia es fundamental para el planeta. *Banco Mundial*.

Almeida Huaraca, M. A., & Lima Remache, G. A. (2014). *Análisis de la capacidad y tolerancia que presentan las especies forestales introducidas cepillo rojo y molle y las especies*

vegetales y chilca en suelos contaminados con plomo y níquel en el parque zonal puertas del sol, distrito metropolitano de quito. Quito: UPS.

Alonso, García, Pérez, & Melgar. (2003). Acumulación de metales pesados en macromicetos comestibles y factores que influyen en su captación. *Toxicol*, 11.

Altamirano Pérez, I. V. (2015). *Evaluación de la actividad antioxidante de cuatro especies del género Croton.* Quito: Universidad Central del Ecuador.

Bustos Contreras, Y. A. (2021). *Uso de plantas hiperacumuladoras en minería: conceptos y aplicaciones.* Medellín-Colombia: UNAL.

Cahuana, L., & Aduvire, O. (2019). Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú. *Medio Ambiente y Mineria*.

Caiza, V. D. (2022). *Potencial bioacumulador de metales pesados en tres especies forestales en un área de extracción minera, Yutzupino - provincia de Napo.* Puyo – Ecuador: Universidad Estatal Amazónica.

Camacho Veloz, P. A. (2022). *Aplicación de la fitorremediación en áreas afectadas por contaminantes en Ecuador.* la libertad: upse.

Covarrubias, S., & Peña Cabriales, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Contam*, 8.

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Scielo*.

Díaz Herrera, C. (2018). Investigación cualitativa y análisis de contenido temático. Orientación. *Información y Documentación*, 125.

Geoinnova. (2016). Minería y medio ambiente: 3 casos de contaminación ambiental. *Geoinnova*. Obtenido de Geoinnova.

Guerrero Useda, M. E., & Pineda Acevedo, V. (2016). Contaminación del suelo en la zona minera de rasgatá bajo. *Scielo*, 65.

Huayllani Enriquez, M. G. (2016). *Presencia de metales pesados en la estructura vegetal de instaladas en áreas intervenidas por la minería aurífera en el sector Manuani-inambari-tambopata-madre de Dios.* Puerto Maldonado-Perú: unamad.

Instituto Nacional de Bosques. (2017). *Cedro Cedrela odorata; paquete tecnológico forestal.* Guatemala: INAB.

Medina Marcos, K. D., & Montano Chávez, Y. N. (2013). *Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el juncus arcticus Willd. y Cortaderia Rudiuscula Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero alianza.* Huaraz-Ancash-Perú: Universidad Nacional.

Paredes Mur, J. (2018). Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relajes mineros. *ECI*, 42.

Perez, R., & Condit , R. (2020). Acalypha diversifolia Jacq. *Smithsonian*. Obtenido de Smithsonian.

Prefectrura de Napo. (2020). *Plan de desarrololo y ordenamiento territorial Napo.* Napo: Prefectura de Napo.

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2066). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Scielo*.

Ríos Sevilla, D. F. (2015). *Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de.* Quito: PUCE.

Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. *FAO*.

Romo Lozano, J. L., Vargas Hernández, J., López Upton, J., & Ávila Angulo, M. L. (2017). Estimación del valor financiero de las existencias maderables de cedro rojo (Cedrela odorata L.) en México. *Madera y Bosques*, 111-112.

Salazar, K. (2013). *Cantones de la provincia de Napo.* Ecuador: Blogspot.

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

Terán-Valdez, A., Duarte, N., Pérez, A., Cuesta, F., & Pinto, E. (2018). Guía para la restauración de bosques montanos tropicales. En *selección de especies potenciales para la restauración* (pág. 70). Quito-Ecuador: CONDESAN.

Tinto Arandes, J. A. (2013). El análisis de contenido como herramienta de utilidad para la realización de una investigación descriptiva. *Provincia*, 138.

Ulloa Sánchez, K. E. (2019). *La minería ilegal y la vulneración de los.* Ambato – Ecuador: Universidad Tecnica de Ambato.

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

Vivanco Valenzuela, G. (2016). El efecto de la minería ilegal en el Perú: impactos económicos y sociales. *Facultad de Ciencias Contables*, 119.

WFO. (2023). Myriocarpa longipes Liebm. *worldfloraonline*. Obtenido de worldfloraonline.

6. Anexos

Marco teórico

Minería ilegal

La minería hace referencia a la producción de los minerales y otros tipos de materiales que se encuentran dentro de la corteza terrestre, esta actividad está relacionada con la extracción de elementos de las mismas que se pueden obtener beneficios económicos ya que los minerales que son extraídos generan grandes ganancias, pero, los impactos negativos que genera esta minería causan un impacto negativo ya sea igual o mayor al de sus ganancias (Ulloa Sánchez, 2019).

La extracción de la minería ilegal está considerada como una de las actividades principales que causan o generan pérdidas a gran escala tanto ambientales, sociales y económicas, además, la minería ilegal no tiene una autorización administrativa conveniente, este tipo de extracción minera es una actividad delictiva el cual están contempladas dentro del Código Penal (Vivanco Valenzuela, 2016).

La minería es el principal medio de contaminación de metales pesados originando así impactos como son: la destrucción de la corteza terrestre, la contaminación de flora y fauna del entorno que lo rodea y los entornos que se encuentran próximos para ser destruidos o para realizar las explotaciones mineras, ocasionando ciertos efectos negativos en la salud de las poblaciones humanas y ciertas especies de animales que habitan en el lugar (Geoinnova, 2016).

Metales pesados

Los metales pesados tienen presencia de elementos potencialmente tóxicos como los metales pesados en el medio ambiente han aumentado significativamente en las últimas décadas, principalmente a la actividad humana. La contaminación por metales representa una amenaza importante para el medio ambiente para los seres vivos, ya que ciertos micronutrientes esenciales, como el cobre y el zinc los cuales son tóxicos en altas concentraciones, mientras

que otros como el cadmio, mercurio y el plomo son tóxicos en dosis bajas (Alonso, García, Pérez, & Melgar, 2003).

La industria minera es uno de los principales contribuyentes a la contaminación ambiental por metales pesados, principalmente como resultado el manejo inadecuado de los "jales mineros" que son sus productos de desecho (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017).

El plomo se halla en bajas concentraciones, no es nocivo para los microorganismos del suelo, en altas concentraciones, se esparce por el suelo, provocando cambios en el medio ambiente que perjudican el crecimiento de las plantas (Camacho Veloz, 2022).

La contaminación del suelo con mercurio tiene efectos severos en los microbios del suelo, lo que lleva a un desequilibrio ambiental significativo que afecta a la microfauna terrestre que compone la materia orgánica y algunos tipos de material inorgánico (Camacho Veloz, 2022).

Metales pesados en los organismos

Las plantas necesitan pequeñas cantidades de estas sustancias para completar sus ciclos cítricos, pero son tóxicos en ciertas cantidades (Almeida Huaraca & Lima Remache, 2014).

La bioacumulación de metales pesados en el organismo es significativamente tóxica, como lo demuestra la aparición de patologías en diversos organismos y tejidos. De los metales pesados mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As), solo el mercurio es capaz de bioacumular, sin embargo, muchos organismos acuáticos bioconcentran metales pesados como las ostras y los mejillones que son capaces de contener niveles de Mercurio y Cadmio que son 100 000 veces más grandes que los que se encuentran en el agua donde viven (Huayllani Enriquez, 2016).

La capacidad de las plantas para acumular metales y otros contaminantes varían según el tipo de planta y los contaminantes, y las variaciones en la absorción de metales se atribuyen específicamente a la capacitad de retención del metal en cuestión, en las interacciones planta raíz-metal y en el proceso metabólico de la planta (Huayllani Enriquez, 2016).

Plantas bioacumuladoras

Son aquellas plantas con capacidad para almacenar grandes cantidades de un metal en alguno de sus elementos estructurales (raíz, tallo, hojas o frutos) o para acelerar al rastrillo. A diferencia de los niveles que se encuentra en la mayoría de las plantas, genera la capacidad de

crecer en tejidos ricos en metales y acumular cantidades extraordinarias de metales concentrados en los órganos aéreos. Se sabe que las concentraciones de ciertos elementos químicos pueden ser entre 100 y 1000 veces mayores en las especies hiperacumuladoras, contienen fuerte aumento de la tasa de absorción de metales pesados, raíces que realizan la translocación más rápidamente, gran habilidad por detoxificar y acumular metales pesados en hojas. Los niveles de concentración de metales en los tejidos superficiales de los hiperacumuladores son significativamente más altos que los del suelo o de las especies acumuladoras cercanas (Bustos Contreras, 2021).

Fitorremediación

La fitorremediación implica en el uso en las plantas y microorganismos conectados entre sí para revertir, contener y atenuar áreas contaminadas con metales pesados o hidrocarburos, por otro lado, la fitorremediación es como una tecnología que se ocupa de los procesos de separación, transmisión, estabilización, degradación y reducción de contaminantes orgánicos e inorgánicos nocivos para el agua y el suelo (Camacho Veloz, 2022).

Se ha demostrado que ciertas especies, conocidas como hiperacumuladoras, son capaces de almacenar metales pesados, como Cd, Pb, Zn, Cu, Fe, Ni, Se, que están presentes en altas concentraciones. Los mecanismos de acumulación y tolerancia de metales juegan un papel en la unificación de metales pesados en las plantas. Cuando se encuentra en su hábitat nativo, las plantas bioacumuladoras son capaces de acumular alta concentración de metales pesados. El movimiento de material dentro de la planta se produce a través del sistema vascular o el tejido de la xilema. Aunque también podrían transferir potencialmente metales pesados de las raíces a las hojas, su principal función es transportar agua (Paredes Mur, 2018).

Principales características ecológicas y económicas de las especies forestales

Especies arbóreas

Cedrela odorata (Cedro)

El cedro es originario de América tropical por ende forma parte de la flora nativa de la mayoría de los países latinoamericanos, a excepción de chile. Esta especie es utilizada frecuentemente en los sistemas agroforestales como sombreadoras de las plantas de cacao o café y son usados usualmente en linderos o cercas vivas. De hecho, el cedro a nivel mundial es una madera con mayor mercado completamente desarrollado económicamente. La especie *C. odorata* es un árbol de hasta 40 m de altura y con un diámetro de hasta 2 m, también posee un

fuste cilíndrico con una corteza fibrosa de color rojo pardo cuando está viva y cuando la corteza está muerta es agrietada con un color gris. Paseen hojas caducifolias y tira sus hojas cuando los frutos de la temporada anterior han madurado totalmente, antes de florecer. Por esta razón florecen cuando el árbol tira sus hojas; estas flores usualmente son perfectas de color blanco, agrupadas en racimos florales o panículas grandes de 30 a 50cm, con un cáliz irregularmente dentado. Es una planta que se encuentra hasta un 800 msnm y se adapta a condiciones de temperaturas entre 20 y 32 °C, con una precipitación entre 1200 y 200 mm por año, y en una estación seca de tres a cuatro meses. Además, esta planta requiere de suelos con buena disponibilidad de elementos y varia de suelos franco-arcilloso a franco-arenoso, sin embargo, también toleran sitios húmedos, suelos neutros y calcáreos (Instituto Nacional de Bosques, 2017).

Croton lechleri (Sangre de drago)

La Sangre de drago es una especie originaria de Sudamérica que se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales. En el ecuador se distribuyen desde el Norte hasta la zona Austral del país entre los 1000-2500 msnm. Se trata de un árbol que requiere suelos arcillosos o areno-arcillosos, y a la vez profundos o mediamente profundos, y que sean ricos en nutrientes y con una buena exposición solar. El *C. lechleri* es un árbol que alcanza a medir un máximo de 22 m de altura y es un individuo de crecimiento rápido, pero todo depende del sitio en que se encuentre, por lo general este individuo llega a alcanzar un diámetro máximo de DAP de 40 cm. Usualmente también esta especie posee características de una copa amplia y una madera suave de color blanca, generalmente estos árboles pierden y recuperan rápidamente el follaje (Altamirano Pérez, 2015). A la vez este es una especie que en los últimos años ha incrementado su demanda en el mercado gracias a la producción del látex rojo que ayuda a combatir enfermedades y con ello ha incrementado una creciente importancia económica en el mercado (Romo Lozano, Vargas Hernández, López Upton, & Ávila Angulo, 2017).

Guadua angustifolia (Bambú)

Los bambúes son plantas que crecen naturalmente en climas tropicales y templados, con excepción de Europa y Asia Occidental. Actualmente el bambú se ha convertido en una prominente alternativa forestal sostenible considerado de alta importancia económica, social y cultural. El bambú comienza a crecer en elevaciones 0 y 1800 msnm, pero crece mejor en áreas de al menos 100 m de altura y con una iluminación anual entre 1800 y 2000 horas, el rango ideal de temperatura, humedad y precipitación está entre 20 a 30 °C, o entre 75 a 80 % respectivamente. Es una planta con mayor concentración y retención de CO2 permanece fija en

el trabajo que realiza, el gas no es liberado a la atmósfera. Es una planta que crece a un ritmo de hasta 20 cm al día y tiene mayor producción de biomasa entre todas las frondosas de alta calidad. El bambú es una de las especies más utilizadas y comercializadas del mundo. Se utiliza para construir casa, muebles, puentes e implementos agrícolas, ningún otro material es más versátil, duradero o adaptable al clima. Entre las numerosas funciones medioambientales que desempeñan los guadales figuran la captura del CO2, el almacenamiento de aguas en altas estructuras que mantienen la humedad del suelo, el control de los caudales hídricos y el apoyo a la vida silvestre (Villamar Choez, 2020).

Especies arbustivas

Theobroma cacao (Cacao)

La planta de cacao proviene de la selva tropical Suramérica, concretamente procede de región compartida por las regiones amazónicas de Ecuador, Colombia y Perú. El cultivo tradicional del cacao se realiza en sistemas agroforestales que, además de ser biodiversos, albergan importantes poblaciones de insectos. El cultivo de cacao implica asociarse con otros árboles para proporcionar la sombra necesaria para el crecimiento y la producción óptima de la planta, estas plantaciones de cacao son sistemas agroecológicos que también producen una serie de beneficios ambientales como el amortiguamiento en áreas naturales, facilitan la conectividad entre remantes de vegetación, aportan con la fijación de CO2 atmosférica y servir como refugio para una serie de especies de aves migratorias (Ríos Sevilla, 2015).

Acalypha diversifolia (Arenillo)

Es una planta arbustiva de 2 a 6 m de altura que usualmente crece a bajas o medianas elevaciones y se puede encontrar en bosques secos, pluviales, húmedos o muy húmedos en todos los países, pero todo depende mientras estén en elevaciones entre 0-1150 msnm y en un máximo de 2100 msnm. A esta especie se le puede encontrar comúnmente en los sitios abiertos, en los bordes del camino, en las orillas del río o riachuelos y por lo general es común observar que estas plantas florecen y fructifican de enero a junio y de septiembre a diciembre (Perez & Condit , 2020). El arenillo es una planta que cumple algunas funciones ecológicas tales como una planta facilitadora, atracción de dispersores de semillas y en la descompactación del suelo, pero también llega hacer una planta que cumple beneficios económicos en la sociedad ya que a la planta lo usan para la producción de carbón, producción apícola y a la vez como medicina (Terán-Valdez, Duarte, Pérez, Cuesta, & Pinto, 2018),

Myriocarpa longipes (Ortiga silvestre)

Es una planta leñosa nativa de América Central y del Sur, se puede variar en tamaño desde arbusto hasta árboles pequeños (2 a 12 m de altura). Esta especie pertenece a la familia urticáceas y es uno de los individuos que se distingue por ser plantas dioicas o raramente monoicas. Tiene hojas ovaladas o elípticas, por lo general a esta especie se le puede visualizar sus yemas pelosas o densamente pelosas, en cuanto a la inflorescencia estos individuos son unisexuales por las axilas de las hojas y es común encontrar en abundancia a esta especie en áreas que ya han sido los suelos muy alterados, la *M. longipes,* se puede encontrar en todo el país, por lo general en alturas que van desde 0 hasta 800 y un máximo de 800 hasta 1500 msnm (WFO, 2023).