UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE *Piptocoma discolor* EN SITIOS CONTAMINADOS POR LA MINERÍA.

AUTOR(ES):

Keyla Cristina Puma Yauripoma

Daniela Katherine Reyes Mena

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:

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE *Piptocoma discolor* EN SITIOS CONTAMINADOS PORLA MINERÍA.

AUTOR(ES):

Keyla Cristina Puma Yauripoma

Daniela Katherine Reyes Mena

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: Evaluación del potencial bioacumulador de metales pesados de *Piptocoma discolor* en sitios contaminados por la minería		
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 criterios requeridos
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 criterios requeridos
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	17/20	Algunas citas no se ajustan a las normas APA 7.
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	Si cumple con los criterios requeridos
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	12/15	Los títulos y subtítulos no se acojen a las normas APA 7.

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.	22/25	Los títulos y subtítulos no se acojen a las normas APA 7.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Si cumple con los criterios requeridos
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	4/5	Algunas citas no se acogen a las normas APA 7.
VALORACIÓN TOTAL	90	

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	90

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
JORGE ANIBAL DELEG TENESELA

Msc. Jorge Aníbal Déleg Tenesela
Docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Nueva Loja, a los 6 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: Evaluación del potencial bioacumulador de metales pesados de *Piptocoma discolor* en sitios contaminados por la minería		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	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.	15/15	Cumple

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	Cumple
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	100	100/100

DICTAMEN

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

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

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SEGUNDO BOLIER TORRES NAVARRETE

Segundo Bolier Torres Navarrete

Dado en la ciudad de Puyo, a los 09 días del mes de Marzo de 2023

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

Puyo, 01-03-2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Puma Yauripoma Keyla Cristina, con C.I. 1501156390, con el Tema: "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE *Piptocoma discolor* EN SITIOS CONTAMINADOS POR LA MINERÍA", 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 4%, 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

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

Ouriginal

Document Information

Analyzed document	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE Piptocoma discolor KEYLA Y DANIELA.docx (D159835372)
Submitted	2023-03-01 23:50:00
Submitted by	GARCIA QUINTANA YUDEL
Submitter email	ygarcia@uea.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	ygarcia.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / DOCUMENTO PARA URKUND.docx**
Document DOCUMENTO PARA URKUND.docx (D142662809)
Submitted by: ygarcia@uea.edu.ec
Receiver: ygarcia.uea@analysis.urkund.com
6

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / TESIS (15-07-21) Version 1.doc**
Document TESIS (15-07-21) Version 1.doc (D110523752)
Submitted by: dsarabiag@uea.edu.ec
Receiver: dsarabiag.uea@analysis.urkund.com
3

Entire Document

100% MATCHING BLOCK 1/9 SA DOCUMENTO PARA URKUND.docx (D142662809)

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados

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

Puyo, 01-03-2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Reyes Mena Daniela Katherine, con C.I. 1600710733, con el Tema: "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE *Piptocoma discolor* EN SITIOS CONTAMINADOS POR LA MINERÍA", 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 4%, 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

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

Ouriginal

Document Information

Analyzed document	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS DE Piptocoma discolor KEYLA Y DANIELA.docx (D159835372)
Submitted	2023-03-01 23:50:00
Submitted by	GARCIA QUINTANA YUDEL
Submitter email	ygarcia@uea.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	ygarcia.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / DOCUMENTO PARA URKUND.docx**
Document DOCUMENTO PARA URKUND.docx (D142662809)
Submitted by: ygarcia@uea.edu.ec
Receiver: ygarcia.uea@analysis.urkund.com
6

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / TESIS (15-07-21) Version 1.doc**
Document TESIS (15-07-21) Version 1.doc (D110523752)
Submitted by: dsarabiag@uea.edu.ec
Receiver: dsarabiag.uea@analysis.urkund.com
3

Entire Document

100% MATCHING BLOCK 1/9 SA DOCUMENTO PARA URKUND.docx (D142662809)

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados

Evaluación del potencial bioacumulador de metales pesados de *Piptocoma discolor* en sitios contaminados por la minería.

Puma Yauripoma Keyla Cristina[1]

kc.pumay@uea.edu.ec

Reyes Mena Daniela Katherine[1]

dk.reyesm@uea.edu.ec

Dr. García Quintana Yudel, PhD[2]

ygarcia@uea.edu.ec

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

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados de la especie *Piptocoma discolor* (pigüe) en sitios contaminados por la actividad minera, debido a los elevados niveles de contaminantes en los suelos, en las cuencas hídricas y a la pérdida de flora y fauna. Se determinó el factor de bioconcentración de la especie en cuatro sitios (tres correspondientes al sector Simón Bolivar y uno a Yutzupino) a partir de la relación existente entre la concentración del metal pesado en el tejido foliar y el suelo, por medio de espectrometría de absorción anatómica. Los análisis indicaron la potencialidad de la especie para la acumulación Fe, Cu y Zn con valores medios de 180 mg/kg, 27,5 mg/kg y 80 mg/kg en tejido foliar, se encontró una variación significativa entre los sitios de estudio en cuanto a la concentración de metales pesados en el suelo, con un comportamiento superior en los sitios 1 y 2 (El Capricho) y una mayor capacidad de absorción de Fe, con valores medios que superan los 1500 mg/kg. Estos resultados demostraron la capacidad de bioacumulación de metales pesados de Fe, Cu y Zn de *P. discolor*, recomendando su uso como especie fitorremediadora para sitios contaminados por las prácticas de extracción minera.

Palabras claves: Bioacumulador, Metales pesados, Fitorremediadora

Abstract

The objective of this research was to evaluate the heavy metal bioaccumulation potential of the species *Piptocoma discolor* (pigüe) in sites contaminated by mining activities, due to the high levels of contaminants in soils, water basins and the loss of flora and fauna. The bioconcentration factor of the species was determined in four sites (three corresponding to the Simón Bolivar sector and one to Yutzupino) based on the relationship between the concentration of the heavy metal in the leaf tissue and the soil, by means of anatomical absorption spectrometry. The analyses indicated the potential of the species for Fe, Cu and Zn accumulation with mean values of 180 mg/kg, 27,5 mg/kg and 80 mg/kg in leaf tissue. A significant variation was found among the study sites in terms of heavy metal concentration in the soil, with a superior behavior in sites 1 and 2 (El Capricho) and a greater capacity for Fe absorption, with mean values exceeding 1500 mg/kg. These results demonstrated the bioaccumulation capacity of *P. discolor* for Fe, Cu and Zn heavy metals, recommending its use as a phytoremediation species for sites contaminated by mining practices.

Key Words: Bioaccumulator, Heavy metals, Phytoremedition.

Introducción

Los metales pesados presentes en el suelo son considerados como tóxicos ambientales muy peligrosos porque tienden a bioacumularse. Sus características más comunes son: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, lo cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos, ya que su degradación natural es difícil, no pueden ser destruidos, pero pueden ser disueltos por agentes físicos, químicos y ser lixiviados. Algunos forman complejos solubles para ser transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, semillas, plantas y forraje) primordialmente aquellos que proceden de áreas contaminadas (Londoño-Franco et al., 2016).

El suelo es un recurso natural esencial para la vida del planeta, posibilita el asentamiento de actividades agrícolas, forestales y ganaderas; sin embargo, a nivel mundial, la gradual contaminación del suelo se origina por contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, que pueden ser por causas naturales (filtraciones salinas, erosiones) o antrópicas (explotación de minerales, derrame de petróleo). Según (Heredia, 2017) es el medio más estático, donde los contaminantes pueden persistir durante mucho tiempo. Esta persistencia a largo plazo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos como los metales pesados, que no pueden ser degradados. La minería y actividades asociadas producen una gran cantidad de residuos peligrosos y relaves con presencia de metales pesados que son asentados en la superficie del entorno minero.

El valor de recuperar los ecosistemas contaminados es incalculable, y es por ello que se ha considerado la necesidad de utilizar métodos más económicos que los tradicionales (fisicoquímicos). La fitorremediación compone una de las metodologías en expansión, considerándose como una tecnología muy competitiva y económica. Esta se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas de suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener o disminuir la toxicidad de los contaminantes existentes en el suelo (Paguay, 2014).

Las actividades de extracción minera realizadas en el sector Simón Bolívar, comunidad el Capricho, cantón Carlos Julio Arosemena Tola y en la comunidad de Yutzupino, cantón Tena, pertenecientes a la provincia de Napo, han generado

consecuencias ambientales negativas, como la degradación y erosión de los suelos, la tala indiscriminada de extensas áreas de bosques, contaminación del recurso hídrico y la contaminación del aire, lo cual también implica la pérdida de la fauna silvestre, así como los recursos hidrobiológicos afectando a la biodiversidad y a la migración de especies.

Las prácticas mineras que se realizan de forma ilegal en las comunidades El Capricho y Yutzupino, es un tema de preocupación por la comunidad científica, debido a los niveles de contaminación de metales pesados que se producen como consecuencia de la extracción de oro. En estos sitios la especie *P. discolor* resulta uno de los principales recursos forestales de importancia, sin embargo, la explotación minera ha provocado severas afectaciones en el paisaje. De ahí que se formula el siguiente problema científico: ¿Qué potencial bioacumulador de metales pesados posee la especie *P. discolor* como criterio para su uso como fitorremediación en sitios contaminados por la minería en la comunidad El Capricho y Yutzupino?

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial bioacumulador de metales pesados (Fe, Cu, Zn y Pb) de la especie *P. discolor*, en sitos que han sido contaminados por la extracción minera como base para su recomendación con fines de fitorremediación.

Metodología

Área de estudio

El presente estudio se efectuó en dos cantones de la Provincia de Napo, el primero correspondiente al sector Simón Bolívar, localizado en la comunidad El Capricho perteneciente al cantón Carlos Julio Arosemena Tola y el segundo a la comunidad Yutzupino, del cantón Tena, en áreas donde se realiza la actividad minera, seleccionando cuatro sitios específicos para la toma de muestras foliares y de suelo de la especie *P. discolor* (Figura 1).

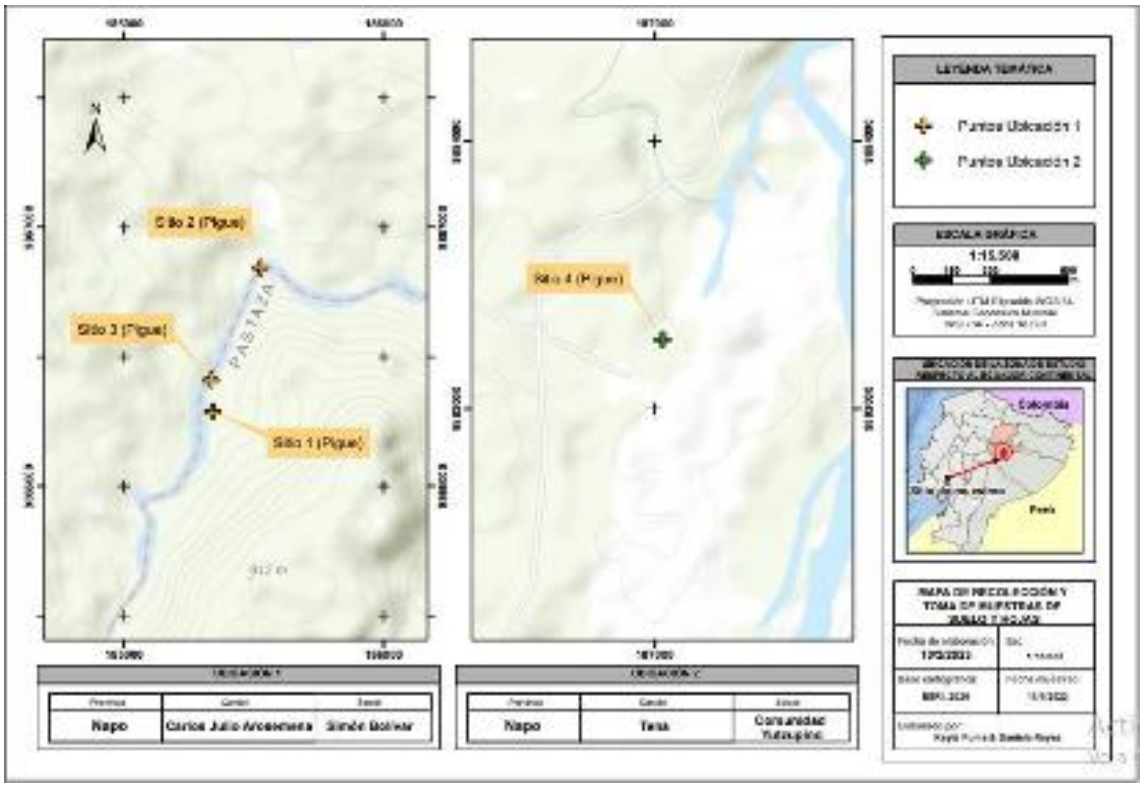

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio correspondiente a los sectores Simón Bolivar y Yutzupino, cantones Carlos Julio Arosemena Tola y Napo.

Tipo de investigación

La investigación realizada fue de tipo descriptiva y analítica.

Se empleó la investigación descriptiva, porque implicó la observación y descripción del comportamiento de un sujeto sin influir sobre el de ninguna manera. Según (Shuttleworth, 2008), esta investigación permite buscar propiedades, características y describir tendencias de un grupo o población; su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. En este caso, se describió el comportamiento bioacumulador de metales pesados de la especie en estudio *P. discolor*.

La investigación analítica, es un método que permite realizar el diagnóstico del problema y la generación de hipótesis (Nirian, 2020). Sobre la base de datos obtenidos en campo, que comprendieron la colecta de muestras de hojas y suelos se analizó los diferentes metales pesados (Fe, Cu, Zn y Pb) que se encontraron en el tejido foliar y en el suelo, lo que facilitó interpretar las características del fenómeno estudiado.

La presente investigación se desarrolló en tres etapas fundamentales. La primera etapa fue el trabajo de campo, donde se seleccionó los sitios de estudio y la obtención de

muestras foliares y de suelo, la segunda etapa fue experimental, donde las muestras tomadas en el campo fueron analizadas en el Laboratorio de Ambiental, de Bromatología y de Suelos de la Universidad Estatal Amazónica, y la tercera y última etapa correspondió al procesamiento de datos e interpretación de resultados.

Muestreo de material vegetal y suelo

El muestreo del material vegetal y suelo se realizó en cuatro sitios diferentes, donde tres estuvieron ubicados en el sector Simón Bolívar y uno en la comunidad de Yutzupino dentro de un área minada. Se seleccionó la especie *P. discolor*, por su rápido crecimiento, fácil adaptabilidad en zonas con alteraciones antropogénicas, y por la capacidad de regenerarse de forma natural. La identificación botánica de la especie se realizó con la ayuda de un técnico del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), y la validación taxonómica de la especie se realizó a partir de la búsqueda en los recursos virtuales Trópico y Plant List.

El material vegetal se recolectó seleccionando hojas jóvenes en desarrollo y adultas plenamente formadas de diferentes ramas, alrededor de la copa de la planta seleccionada, considerando que estuvieran en buen estado físico, no presentaran daños ni enfermedades aparentes (Hu et al., 2014). Las muestras fueron etiquetadas y posteriormente trasladadas al laboratorio para el análisis de los siguientes metales pesados: plomo (Pb), zinc (Zn), hierro (Fe) y cobre (Cu).

Las muestras de suelo se tomaron en cuatro puntos diferentes alrededor de la planta seleccionada, en un radio de 30 cm y a una profundidad de 0-30 cm (Greksa et al., 2019). Las muestras fueron etiquetadas y llevadas al laboratorio para el análisis de los mismos metales pesados que en el tejido foliar.

Análisis de muestras de hojas y suelo

Preparación y análisis de las muestras vegetativas

Las muestras foliares recolectadas se secaron dentro de una estufa con circulación forzada de aire a 60 °C durante 72 h, luego del estado seco fueron colocadas en un mortero y posteriormente en la licuadora para triturarlas hasta obtener un material fino (George W. Latimer, 2019).

La preparación de la muestra de tejidos vegetales se realizó con el método de digestión en base húmeda, utilizando digestión por microondas mediante la combinación de ácidos fuertes y peróxido de hidrogeno.

Para la digestión por microondas se pesó 0,5 g de muestra seca y se agregó al pocillo, se midió 1 mL de peróxido de hidrogeno concentrado al 30% y se agregó en el pocillo; dentro de la sorbona se midió 7 mL de ácido nítrico concentrado al 65% y se agregó al pocillo, se cerró herméticamente con la ayuda del brazo ajustador (palanca), se colocó en el equipo (sistema de digestión de microondas) y realizó la digestión. Luego, pasado el tiempo de digestión se dejó enfriar y posteriormente se retiró los pocillos, dentro de la Sorbona se aflojó los pocillos con la ayuda del brazo ajustador, se colocó la muestra digerida en un matraz de 50 mL y se llevó a volumen con ácido nítrico 1M, se tapó, agitó y se llevó a refrigeración (George W. Latimer, 2019)

Preparación y análisis de las muestras de suelo

Las muestras recolectadas de suelo se secaron dentro de la estufa con circulación forzada de aire a 60 °C por 72 h, las muestras secas se colocaron en bandejas sobre papel periódico y posteriormente se procedió a retirar residuos (raíces, piedras) y, por último, se trituró y tamizó las muestras para ser analizadas. Para la digestión por microondas se pesó 0,5 g de muestra seca y se agregó al pocillo, dentro de la sorbona, se midió 10 mL de ácido nítrico concentrado al 65% y se agregó al pocillo, se cerró herméticamente con la ayuda del brazo ajustador (palanca), se colocó en el equipo (sistema de digestión de microondas) y se realizó la digestión. Luego, pasado el tiempo de digestión se dejó enfriar y posteriormente se retiró los pocillos; dentro de la sorbona se aflojó los pocillos con la ayuda del brazo ajustador, se colocó la muestra digerida en un matraz de 50 mL y se llevó a volumen con ácido nítrico 1M, se tapó, agitó y se llevó a refrigeración (George W. Latimer, 2019)

Lectura de las muestras

Una vez digeridas las muestras fueron transferidas a un matraz aforado de 25 mL, anteriormente ya etiquetado, y se enrasó con ácido nítrico y agua destilada hasta la línea del aforo hasta completar el volumen. Las muestras fueron filtradas previo al análisis, finalmente las determinaciones de metales pesados se realizaron en un espectrómetro de absorción atómica (TRACE 1200/INTRUMENS LTD).

Cálculo del factor de bioconcentración

Se calculó el factor de bioconcentración (FB), el cual representó la capacidad de la planta para absorber metales pesados (o cualquier otro elemento químico) de los medios

de crecimiento. Este se obtuvo a partir de la proporción de la concentración de elementos en la planta y el suelo (Alahabadi et al., 2017).

$$\boldsymbol{BFC} = {}^{\boldsymbol{C_{follaje}}}\Big/_{\boldsymbol{C_{suelo}}}$$

donde $C_{follaje}$ y C_{suelo} representan la concentración de un elemento específico en el material vegetal (tejido foliar) y del suelo, respectivamente.

Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad para determinar la significación de las concentraciones de metales pesados (Fe, Cu, Zn, Pb) en los sitios seleccionados de la especie *P. discolor* en tejido foliar y suelo, así como para los datos obtenidos del factor de bioconcentración. Se hizo un análisis de conglomerados para definir grupos de similitud en función de la capacidad de absorción de metales pesados de la especie en cada sitio de estudio, utilizando un criterio de cohorte del 50% de similitud. Se realizó la matriz de correlación de Pearson para determinar las relaciones existentes entre la concentración de metales pesados analizados en el tejido foliar y el suelo. Se empleó el análisis de componentes principales (PCA) para establecer la separación de la especie analizada en dependencia de la concentración de metales pesados en cada sitio. Se empleó el software Origin 2022 para todos los análisis estadísticos.

Resultados y discusión

Concentración de metales pesados en tejido foliar

Conforme los resultados del ANOVA se obtuvo diferencias significativas para la concentración de metales pesados de Fe, Cu y Zn, en tejido foliar, de la especie *P. discolor* entre los sitios de estudio (Figura 2).

Al analizar la capacidad de absorción de Fe del tejido foliar se observó que *P. discolor* obtuvo la mayor absorción en el sitio 2, sobrepasando los 180 mg/kg, al contrario del sitio 3 donde absorbió una cantidad inferior a los 130 mg/kg. El Cu presentó el valor más alto de concentración en el sitio 3, con un valor medio de 27,5 mg/kg, a diferencia del sitio 4 que presentó el menor valor, con una absorción inferior a los 20 mg/kg. El Zn presentó la mayor concentración en el sitio 1, con un valor de 80 mg/kg y menor concentración en el sitio 4, absorbiendo 25 mg/kg. El Pb no presentó diferencias significativas en los cuatro

sitios de estudio, con valores en un rango de concentración de 1,8 a 2,8 mg/kg. Esto reflejó que la especie no tiene la capacidad de acumular concentraciones de Pb en el tejido foliar.

P. discolor es una especie nativa de la Amazonía de América del Sur, con predominancia en el bosque secundario, que pertenece a la familia Asteraceae, considerada una especie pionera por su forma natural de crecimiento en los claros de bosques (González et al., 2018). De ahí que la alta capacidad de la especie para acumular metales pesados en los tejidos foliares, reportada en los diferentes sitios de estudio facilita información valiosa para que pueda ser empleada en sitios contaminados por las prácticas de minería que se desarrollan de forma ilegal en la comunidad El Capricho y Yutzupino.

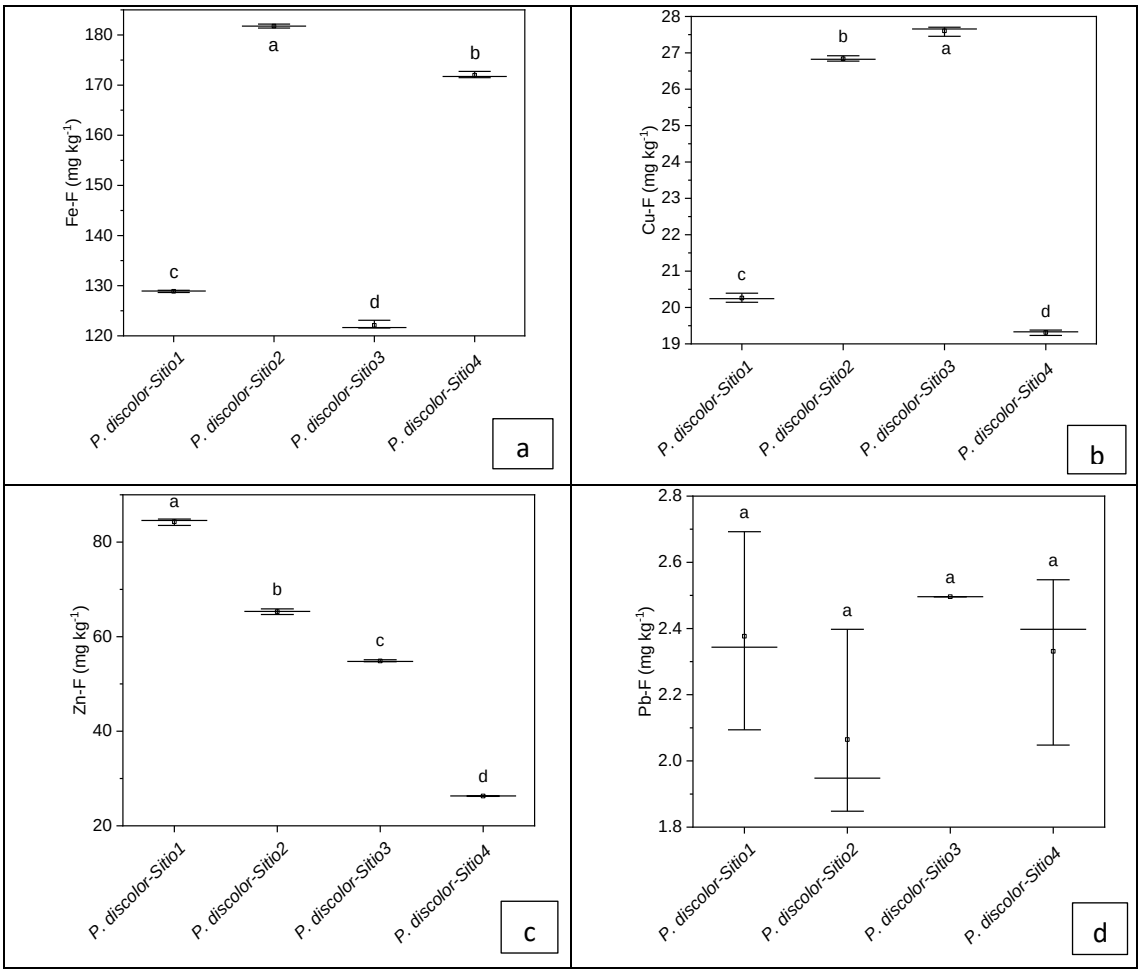

Figura 1. Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad para la concentración de metales pesados en el tejido foliar por sitios de estudio (a) Fe-F: Concentración de Fe foliar, (b) Cu-F: Concentración de Cu foliar, (c) Zn-F: Concentración de Zn foliar y (d) *Pb-F: Concentración de Pb foliar.*

Concentración de metales pesados en suelo

La capacidad de absorción de Fe a nivel del suelo presentó diferencias significativas en los cuatro sitios de estudio. El sitio 1 presentó un valor cercano a 1500 mg/kg, siendo el de mayor capacidad de absorción a diferencia del sitio 4 que obtuvo un valor inferior a 1300 mg/kg. El Cu en el sitio 1 y 2 no presentó diferencias significativas y sus valores oscilaron entre 17 y 18 mg/kg, a diferencia del sitio 3 donde absorbió valores cercanos a 12 mg/kg teniendo mayor absorción que el sitio 4 con una concentración inferior a 8 mg/kg. En cuanto al Zn en el sitio 1 y 2 no se presentaron diferencias significativas, con valores entre 40 y 42 mg/kg, mientras en el sitio 3 y 4 presentaron diferencias significativas entre ellos, el sitio 3 con un valor cercano a 28 mg/kg y el sitio 4 con un valor inferior a 22 mg/kg. En el análisis del Pb el sitio 3 y 4 fueron similares entre ellos y con diferentes entre los sitios 1 y 2. Los sitios 3 y 4 presentaron valores en un rango de 5 a 8 mg/kg, mientras que el sitio 1 y 2 se encontró en un intervalo de 10 a 14 mg/kg (Figura 3).

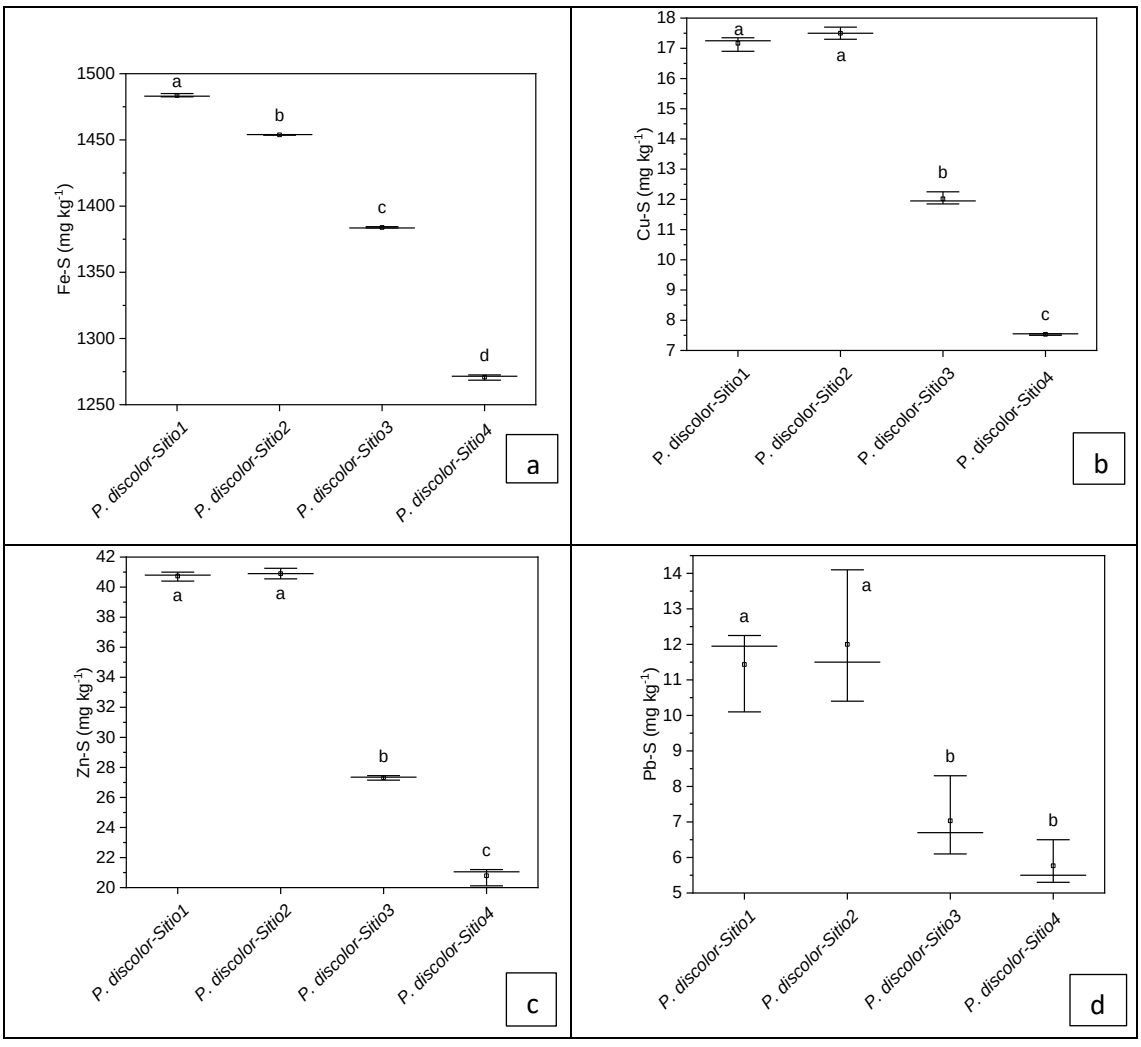

Figura 3. Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad para la concentración de metales pesados en el suelo por sitios de estudio (a) Fe-S: Concentración de Fe suelo, (b) Cu-S: Concentración de Cu suelo, (c) Zn-S: Concentración de Zn suelo y (d) *Pb-S: Concentración de Pb suelo.*

El análisis de muestras de tejido foliar y de suelo de la especie *P. discolor* permite identificar los sitios con mayor potencial bioacumulador de Fe, Zn, Pb, Cu y el reconocimiento de la especie como fitorremediadora para sitios contaminados por la minería. De los cuatro metales pesados que se analizaron el contenido de Fe resultó con mayor concentración, este elemento es importante en la retención de metales pesados ya que tiene una alta capacidad de fijarlos e inmovilizarlos, finalmente se presentan diseminados en la masa del suelo. Los suelos con alto contenido de Fe tienen una alta capacidad de absorción de metales, especialmente Cu y Zn y en menor concentración el Pb (Garcia y Dorronsoro). Esto corrobora con los resultados obtenidos en este estudio, donde existe una alta concentración de Fe y bajo en Pb.

Factor de bioconcentración de la especie

El factor de bioconcentración (FB) para el Fe fue diferente entre los cuatro sitios de estudio. El sitio 4 presentó un valor cercano a 0,135 mg/kg, siendo el valor más alto de concentración, mientras que el sitio 1 presentó un valor inferior a 0,090 mg/kg. El FB para el Cu mostró diferencias significativas en los cuatro sitios de estudio, siendo el sitio 4 el que tuvo mayor FB, con un valor cercano a 2,6 mg/kg y el sitio 1 fue el que presentó valores más bajo, inferior a 1,2 mg/kg. El FB para el Zn presentó el valor más alto en el sitio 1, con un valor cercano a 2,1 mg/kg, mientras que el sitio 4 obtuvo el valor más bajo, inferior a 1,3 mg/kg. El FB para el Pb indicó que el sitio 1 y 2 fue distinto al 3 y 4, en el 1 y 2 el FB presentó valores en una escala de 0,15 a 0,25 mg/kg y en el 3 y 4 en un rango de 0,30 a 0,50 mg/kg (Figura 4).

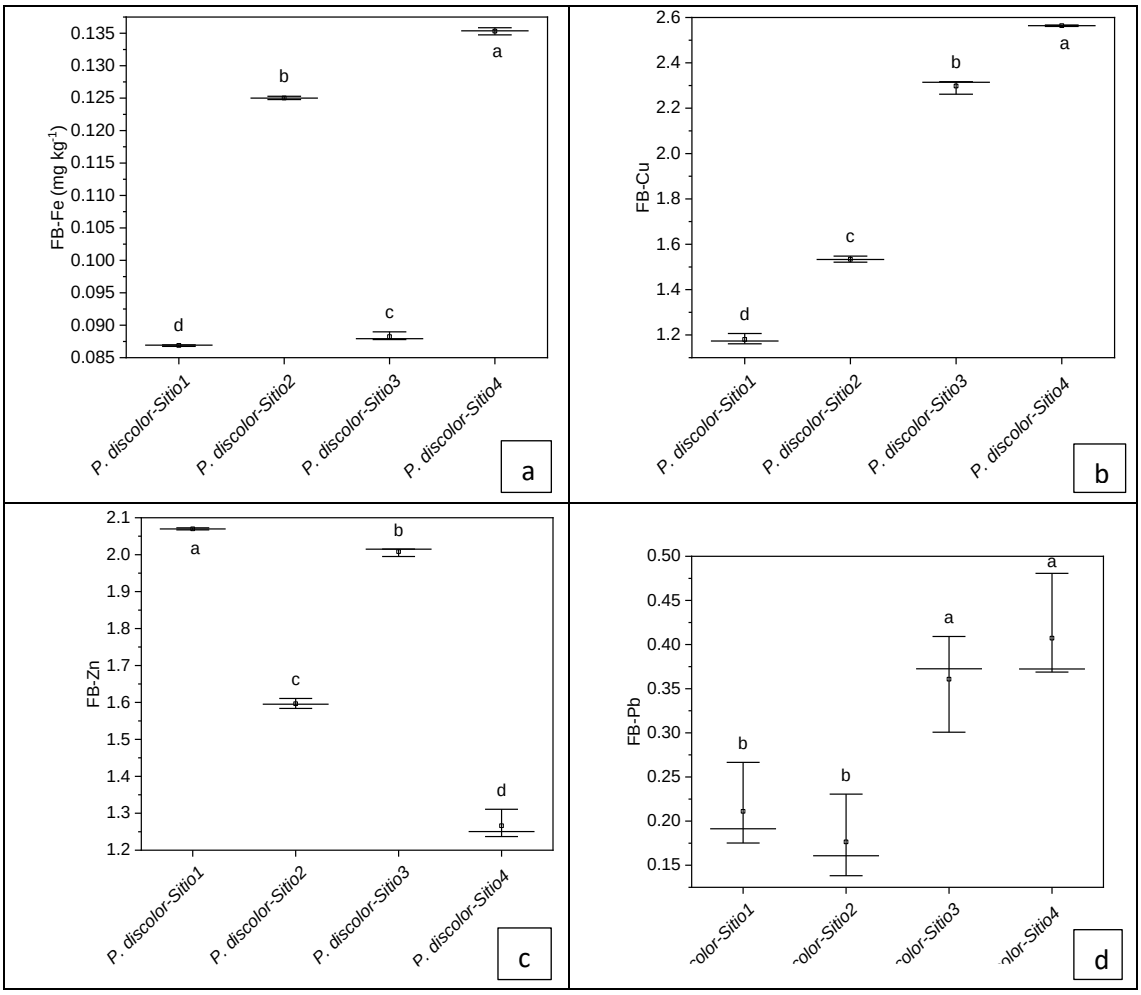

Figura 4. Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad del factor de bioconcentración obtenido a partir de la relación de la concentración de metales pesados en el tejido foliar y suelo (a) FB-Fe: factor de bioconcentración de Fe, (b) FB-Cu: factor de bioconcentración de Cu, (c) FB-Zn: factor de bioconcentración de Zn y (d) *FB-Pb: factor de bioconcentración de Pb.*

Los resultados obtenidos de la matriz de correlación de Pearson indicaron que existe un patrón con alta correlación positiva y negativa, cercana o superior al 50% en los metales Fe-F con FB-Zn (-0,86), FB-Fe (0,95), Zn-F-Zn-S (0,91) y ZnS-CuS (0,99), resultando con una mayor relación aquellos que presentaron valores más cercanos a 1. Por otro lado, se puede destacar que existió una baja relación entre la acumulación de metales pesados a nivel del suelo y tejido foliar (Figura 5).

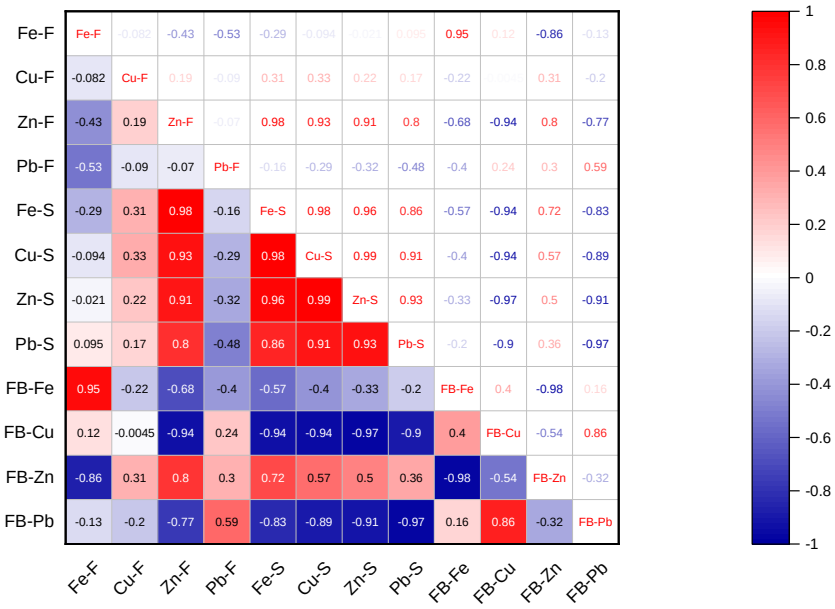

Figura 5. Análisis de correlación de Pearson entre la concentración de metales pesados en tejido foliar, suelo y el factor de bioconcentración.

El análisis del clúster permitió la clasificación de grupos en función de los sitios de estudio y metales pesados, el cual indicó la formación de cuatro grupos a partir de los diferentes metales pesados (Fe, Cu, Zn, Pb). El primer grupo estuvo conformado por la concentración de Fe en el tejido foliar de *P. discolor1* y *P. discolor3*, el segundo grupo lo integró la concentración de Zn para *P. discolor3, P. discolor2, P. discolor1*, el tercer grupo estuvo representado por las concentraciones de Pb en *P. discolor4, P. discolor3, P. discolor2, P. discolor1*, Zn *en P. discolor4* y Cu en *P. discolor3, P.discolor2, P.discolor4 y P.discolor1* y el cuarto grupo conformado por la concentración de Fe de *P. discolor4 y P. discolor2*. Esta clasificación permitió agrupar la capacidad que tiene la especie de acumular metales pesados en los diferentes sitios de estudio, lo que sugiere que la especie *P. discolor* presenta afinidad para la acumulación de metales pesados en los diferentes sitios (Figura 6).

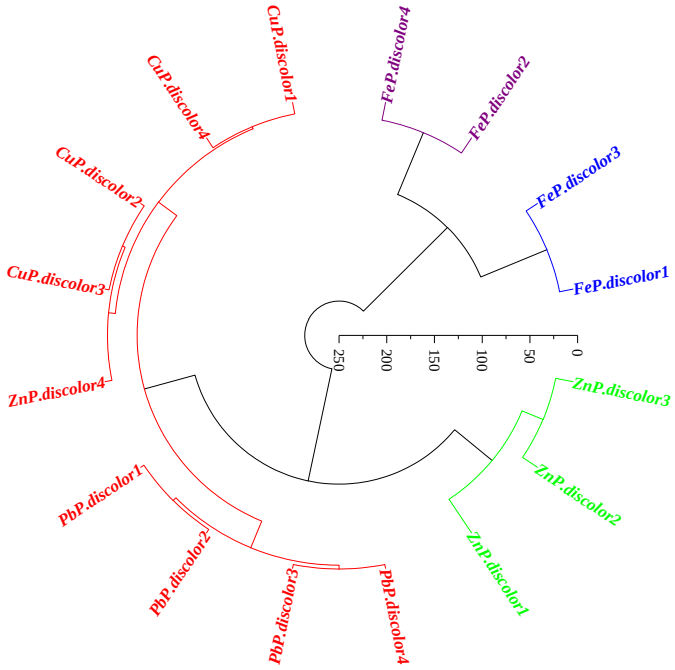

Figura 2. Análisis de Clúster obtenido apartir de la similitud del 50% de la concentracion de metales pesados en tejido foliar.

Conforme el análisis de componentes principales (ACP) se formaron dos componentes, el PC1 explicó un 61,82% de la variabilidad total de los datos y el PC2 un 27,91%. El sistema de coordenadas, determinado por la formación de los dos componentes principales, indicó que la especie *P. discolor* en el sitio 2, ubicado en el eje 1 positivo, se encontró con mayor afinidad para la concentración de metales pesados Pb-S, Cu-S y Zn-S, mientras que *P. discolor* en el sito 4, en el eje 1 del lado negativo, presentó una mayor asociación por los metales Fe-F y Fe-FB y en el eje 2 lado positivo se encontró el sitio 1 con mayor similitud para las concentraciones de Cu-F, Zn-F y Fe-S y en el lado negativo del eje 2 la especie *P. discolor* del sitio 3 presentó mayor afinidad por Pb-F y FB-Cu. Estos resultados demostraron la capacidad de la especie para la mayor bioacumulación de metales pesados en los sitio de estudio, por lo que se recomienda su uso como especie fitorremediadora (Figura 7).

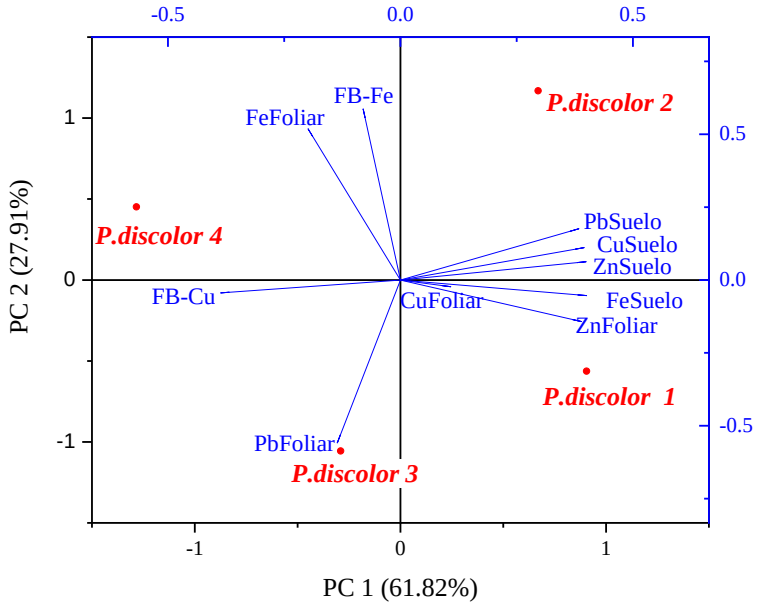

Figura 3. Análisis de componentes principales para la concentración de metales pesados en tejido foliar, suelo y el factor de bioconcentración de la especie P. discolor en cuatro sitios de explotación minera.

En el transcurso de los últimos años se han venido desarrollando tecnologías que contribuyen a la remediación de la contaminación ambiental utilizando plantas. Según (González-Chávez et al., 2017) las plantas participan por diferentes vías en la remediación de sitios alterados o contaminados. La fitorremediación tiene dos modalidades principales: 1) estabilización (fitoestabilización) 2) extracción (fitoextracción). Los resultados derivados de esta investigación facilitan la recomendación de la especie *P. discolor* para fitorremediación en los sitios que han sido contaminados por las prácticas de extracción minera en la comunidad El Capricho y Yutzupino.

Según Yóplac et al., (2020) en un estudio realizado en especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, en Perú. Amazonas, se comprobó que la especie *P.discolor* presentó tolerancia y mayor absorción de los contaminantes de hidrocarburos en su estructura vegetal (raíz, tallo, hojas, fruto) resaltando su potencial como especie bioacumuladora y fitorremediadora para suelos contaminados con un potencial de absorción de 28,306 mg/kg de HTP, permitiendo utilizar a la especie para la fitorremediación de áreas afectadas por la minería por su alta tolerancia a los metales estudiados como a contaminantes de hidrocarburos. Los resultados de esta investigación permiten reconocer el potencial de bioacumulación de la especie *P. discolor*.

Conclusiones

- La concentración de metales pesados en tejido foliar de *P. discolor*, para los cuatro sitios de estudio, demostró la potencialidad de la especie para la acumulación Fe, Cu y Zn con valores medios de 180 mg/kg, 27,5 mg/kg y 80 mg/kg, respectivamente, existiendo un patrón diferenciado entre los sitios de estudio.
- Se obtuvo una variación significativa ($p \leq 0,05$) entre los sitios de estudio donde se desarrolla la especie *P. discolor* en cuanto a la concentración de metales pesados, con un comportamiento superior para Fe, Cu, Zn y Pb en los sitios 1 y 2, correspondientes a la comunidad El Capricho y una mayor capacidad de absorción de Fe, con valores medios que superan los 1 500 mg/kg, lo que denota la alta concentración de este elemento.
- La capacidad de bioacumulación de metales pesados de Fe, Cu y Zn de la especie *P. discolor*, obtenido a partir del factor de biconcentración (FB), demostró su aceptabilidad como especie fitorremediadora para sitios contaminados por las prácticas de extracción minera en el sector Simón Bolívar (El Capricho) y en Yutzupino, Napo.

Referencias

Alahabadi, A., Ehrampoush, M. H., Miri, M., Ebrahimi Aval, H., Yousefzadeh, S. H., Ahmadi, E. T., . . . Nikoonahad, A. S.-B. (2017). A comparative study on capability of different tree species in accumulating heavy metals from soil and ambient air. . *Chemosphere, 172*, 459-467. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.045

Elías González, J., Papue, A., González, V., Borja, A., & Oliva, D. (2018). Crecimiento y conservación de Piptocoma discolor (Pigüe) en la Provincia de Pastaza, Ecuador. Revista Cubana de Ciencias Forestales, 6(3), 366-379.

Garcia , I., y Dorronsoro, C. (s.f.). CONTAMINACION DEL SUELO. *Contaminacion por metales pesados*. Retrieved 05 de Enero de 2023, from http://www.edafologia.net/conta/tema00/progr.htm

George W. Latimer, J. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. Three-volume set, 21st Edition. https://settek.com/documents/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-3051.pdf

González, J. E., Papue, A., González, V., y Adriana Borja:, D. O. (2018). Crecimiento y conservación de Piptocoma discolor (Pigüe) en la Provincia de Pastaza, Ecuador. . *Revista Cubana de Ciencias Forestales, 6*(3). https://doi.org/https://doi.org/10.17528/CIFOR/004424

González-Chávez, M., Carrillo, G. R., A.S, S.-L., y A, R.-O. (2017). Alternativas de fitorremediación de sitios contaminados con elementos potencialmente tóxicos. *Agro Productividad, 10*(4), Abril. https://doi.org/https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/988

Greksa, A., Ljevnaić-Mašić, B., Grabić, J., Benka, P., Radonić, V., Blagojević, B., y Sekulić, M. (2019). Potential of urban trees for mitigating heavy metal pollution in the city of Novi Sad, Serbia. *Environmental Monitoring and Assessment, 19*(636). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10661-019-7791-7

Heredia, D. R. (Diciembre de 2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan, 21*(12), 3372-3385. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012

Londoño-Franco, L. F., Londono-Munoz, P. T., y Munoz-Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 14*(2), 145-153. https://doi.org/https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-15

Nirian, P. O. (5 de junio de 2020). *Método analítico*. Economipedia: https://economipedia.com/definiciones/metodo-analitico.html

Paguay, L. E. (2014). *Espacialización de concentración de metales pesados cromo, zinc y plomo en el complejo industrial fabrilfame y propuesta de remediación de suelos.* Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas. Retrieved 18 de Enero de 2023, from http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8202/1/T-ESPE-047869.pdf

Shuttleworth, M. (2008). *Diseño de Investigación Descriptiva*. Retrieved 2023, from Explorable: https://explorable.com/es/diseno-de-investigacion-descriptiva

Yóplac, K., Tuesta, O., Pariente, E., y Guzmán, W. (2020). Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú. *Revista Forestal del Perú, 35*(1), 31-41. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v35i1.1474

Marco teórico

Metales pesados

Son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles. Hablando ya de la contaminación, los metales pesados tienen efectos en la salud y afectan diferentes órganos (Ledezma, 2009).

Según Méndez y otros (2009) Metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea toxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados, incluyen e` l mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb), entre otros. Se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos.

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo, en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (SWAP, 2022).

Metales pesados en el suelo

Están presentes en el suelo, como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas. Se pueden encontrar diferentes metales formando parte de los minerales propios; como silicio (Si), aluminio (Al), hierro (Fe), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg). También pueden encontrarse manganeso (Mn), que generalmente se presenta en el suelo como oxido, formando concreciones junto con otros elementos metálicos. Algunos de estos metales son esenciales en la nutrición de las plantas, así son requeridos como el Mn, imprescindibles en el fotosistema y activación de algunas encimas para el metabolismo vegetal (Romic y Romic, 2003).

Las actividades geológicas naturales, como desgaste de cerros y volcanes, constituyen una fuente de aportaciones importante de metales pesados en el suelo. También las actividades antropogénicas como la industria minera, que está catalogada como una de las actividades industriales más generadoras de metales pesados. En el suelo, los metales

pesados, pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o insolubles (Puga y otros, 2006).

Relación metal – planta

Algunos metales como el Ni, puede llegar a ser menos absorbidos en suelos y más absorbidos por las plantas, además ser ligeramente toxico para las mismas, siendo un elemento móvil en los tejidos de las plantas, se acumulan preferiblemente en las hojas y semillas (Méndez et al., 2009).

El Pb puede causar diversos daños en las plantas y en diferentes grados de acumulación. En algunas especies, la acumulación de plomo, a medida que aumenta la dosis en el suelo hasta niveles menores a 1000mg de Pb por kg de suelo, tiene a incrementarse rápidamente en los órganos de la planta que estas no lo toleran y mueren. En algunas plantas el plomo es capaz de acumularse principalmente en las raíces siendo mínima su presencia en otros órganos (Mancilla-Villa y otros, 2012).

Minería Ilegal

Actividad que se realiza en espacios prohibidos, como son las riberas de los ríos y lagunas. Incumpliendo las normas administrativas, técnicas, sociales y ambientales que regulan la actividad minera.

Según Barba (2014) La minería ilegal se ha extendido especialmente en las dos últimas décadas, vinculada al incremento del precio de los minerales. La obtención de oro requiere la manipulación de mercurio para extraerlo y separarlo de las roca o piedras en las que se encuentra. Se calcula que la actividad minera ilegal vierte en promedio unos 24 kilos por kilómetro cuadrado. La explotación minera da una doble funcionalidad a los ríos, ya que se utiliza para la introducción de maquinaria y para dar salida a los minerales. Ello tiene graves efectos medioambientales, como la erosión de los suelos, contaminación del agua y recursos hidrológicos, extinción de flora y fauna acuática, impactos atmosféricos, a la par que graves consecuencias y en lo relativo a la salud de pueblos indígenas, además, que tiende a la apropiación de tierras e incursión en áreas naturales protegidas, incrementando a deforestación y la reducción de biodiversidad.

Fitorremediación

La fitorremediación representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados, aprovechando la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo y así recuperar suelos contaminados (Delgadillo Lopez y otros, 2011).

Es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados. Aunque se encuentre en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos (El Cuaderno de porque Biotecnologia, 2006).

Descripción de las características *de Piptocoma discolor* (pigüe)

Según González et al., (2016) Pertenece a la familia Asteraceae, considerada una especie pionera por su forma natural de crecimiento en los claros del bosque. Es un árbol de madera blanda y crecimiento rápido que puede alcanzar una altura de 30m; el diámetro del tronco es de aproximadamente de 60cm, con forma cilíndrica y presenta ramificaciones por encima del tercio inferior, crece en suelos limosos y arcillosos de bosques secundarios tempranos y tardíos de la región amazónica.

Referencias

Delgadillo Lopez , A. E., Gonsalez Ramirez , C. A., Prieto Garcia, F., Villagomez Ibarra , J. R., & Acevedo Sandoval , O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems, 14*(2), 597-612. Retrieved 13 de Enero de 2023, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es}

El Cuaderno de porque Biotecnologia. (2006). *Biorremediación: organismos que limpian el ambiente.* https://www.porquebiotecnologia.com.ar/Cuadernos/El_Cuaderno_36.pdf

González, J. E., Papue, A., Gonzales , V., Borja, A., & Oliva, D. (2016). Crecimiento y conservación de Piptocoma discolor (Pigüe) en la Provincia de Pastaza, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales, 6*(3), 366-379. Retrieved 17 de Enero de 2023, from http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v6n3/2310-3469-cfp-6-03-366.pdf

Barba, R. (2014). *La minería ilegal, la otra destrucción de la Amazonía*. Asuntos Globales y Estudios Estratégicos: https://www.unav.edu/web/global-

affairs/detalle/-/blogs/la-mineria-ilegal-la-otra-destruccion-de-la-amazonia#:~:text=Ello%20implica%20importantes%20consecuencias%20ambientales,y%20a%20la%20migraci%C3%B3n%20de%20especies

Mancilla-Villa, Ó. R., Ortega-EEscobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bellos, R., & Reyes-Ortigoza, A. L. (Febrero de 2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental, 28*(1), 39-48. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100004&lng=es&nrm=iso

Méndez, J. P., César A. González Ramírez, Alma D. Román Gutiérrez, & Francisco Prieto García. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10*(1), 20-44. Retrieved 22 de Enero de 2023, from https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada, 5*(1-2), 149-155. Retrieved 06 de Enero de 2023, from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162006000100020&lng=es&tlng=es

Romic, D., & Romic, M. (2003). Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environmental Geology, 43*, 795-805. ehttps://link.springer.com/article/10.1007/s00254-002-0694-9

SWAP. (2022). *Reporte de calidad del agua potable.* City of Thortn: https://www.thorntonco.gov/government/infrastructure/water/Documents/current-water-quality-report-spanish.pdf

Anexos



Anexo 1. Recolección de muestras de tejido foliar y suelo en los sitios estudiados.



Anexo 2. Fase experimental, análisis de las muestras en laboratorio.



Anexo 3. Procesamiento de datos e interpretación de resultados.