UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

Potencial bioacumulador de metales pesados de tres especies del género *Inga* en la comunidad "El Capricho".

AUTOR(ES):

Luke William Azogue Jarrín

Eli Israel Gamboa Montero

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Arteaga Crespo Yasiel PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

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.	5.0 / 5	Cumple con los requisitos
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	5.0 / 5	Cumple con los requisitos
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre 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.	20.0 / 20	Cumple con los requisitos
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.	15.0 / 15	Cumple con los requisitos
5. METODOLOGÍA		
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 abordo la información.	15.0 / 15	Cumple con los requisitos

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 estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	25.0 / 25	Cumple con los requisitos
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Cumple con los requisitos
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Cumple con los requisitos
VALORACIÓN TOTAL	100	CIEN

DICTAMEN

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

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
YAMILA LAZO PEREZ

YAMILA LAZO PÉREZ (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 10 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

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.	5.0 / 5	Cumple con los criterios de evaluación
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	5.0 / 5	Cumple con los criterios de evaluación
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre 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.	20.0 / 20	Cumple con los criterios de evaluación
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.	15.0 / 15	Cumple con los criterios de evaluación
5. METODOLOGÍA		
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 abordo la información.	15.0 / 15	Cumple con los criterios de evaluación

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 estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	25.0 / 25	Cumple con los criterios de evaluación
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Cumple con los criterios de evaluación
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Cumple con los criterios de evaluación
VALORACIÓN TOTAL	100	CIEN

DICTAMEN

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

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SEGUNDO BOLIER
TORRES NAVARRETE

SEGUNDO BOLIER TORRES NAVARRETE (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 12 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

Ouriginal by Turnitin

Firmado electrónicamente por: YASIEL ARTEAGA CRESPO

Document Information

Analyzed document	Potencial bioacumulador de metales pesados de tres especies del género Inga en la comunidad "El Capricho". final.pdf (D173304066)
Submitted	2023-08-31 21:56:00
Submitted by	ARTEAGA CRESPO YASIEL
Submitter email	yarteaga@uea.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	yarteaga.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana-BRYAN Y HARO.docx** 10
Document Potencial bioacumulador de metales pesados de especies forestales en la región Amazónica ecuatoriana-BRYAN Y HARO.docx (D159841413)
Submitted by: ygarcia@uea.edu.ec
Receiver: ygarcia.uea@analysis.urkund.com

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / SEGUNDA ENTREGA ERAZO-VILLARROEL MODIFICADA- urkund.docx** 6
Document SEGUNDA ENTREGA ERAZO-VILLARROEL MODIFICADA- urkund.docx (D159910144)
Submitted by: ygarcia@uea.edu.ec
Receiver: ygarcia.uea@analysis.urkund.com

SA **TESIS_FINAL_KARINA_YANYELLI.docx** 1
Document TESIS_FINAL_KARINA_YANYELLI.docx (D140956235)

Entire Document

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Trabajo de Integración Curricular Potencial bioacumulador de metales pesados de tres especies del género Inga en la comunidad "El Capricho". Eli Israel Gamboa Montero 1 ei.gamboam@uea.edu.ec Luke Williams Azogues Jarrin 1 lw.asoguezj@ uea.edu.ec Yasiel Arteaga Crespo 1 yarteaga@uea.edu.ec 1 Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la tierra, Carrera de Ingeniería Forestal Resumen El

Potencial bioacumulador de metales pesados de tres especies del género *Inga* en la comunidad "El Capricho".

Luke William Azogue Jarrín
lw.azoguej@uea.edu.ec
Eli Israel Gamboa Montero
ei.gamboam@uea.edu.ec

Yasiel Arteaga Crespo
yarteaga@uea.edu.ec

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

Resumen

El uso de especies forestales del género *inga* para fines de fitorremediación fue el objetivo de esta investigación, las especies que fueron sujeto de estudio son: *Inga brachyptera* Benth. (guabilla), *Inga edulis;* Mart. (guaba), *Inga feuilleei DC., 1825* (pacay); estas especies se encuentran en las riberas del río Pinyoyacu en el sector denominado El Capricho, Santa Clara, Pastaza, Ecuador; lugar afectado por la extracción minera afectando de manera negativa a los habitantes que dependen del agua de este río y animales, para proceder con el análisis del factor de bioconcentración, primero se realizó la digestión con peróxido de hidrógeno y ácido nítrico (H_2NO_3) concentrado mediante el uso del equipo "ETHOS One High Performance Microwave Digestion System", y luego se analizaron las muestras a través de la aplicación de análisis de varianza (ANOVA) en los metales pesados (Zn, Cd, Fe, Pb), además análisis de correlación de Pearson que se puede utilizar para revelar fuentes similares y así permitir ser más exactos y finalmente mediante el análisis de clúster se visualizó tres grupos en función de su concentración de metales pesados (Fe, Co, Zn, Pb) a nivel foliar y en el suelo demostrando que con el análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación Tukey demostró que las especies: *I.feuilleei* posee la mayor capacidad de bioconcentrar los metales pesados (hierro con 0,20 mg/kg), (cobre con 0,75 mg/kg), (zinc con 0.47 mg/kg), y *I. edulis* sobresale en la concentración de plomo con (0,055 mg/kg), la matriz de correlación de Pearson reveló que existe una correlación negativa entre los metales: hierro con (r = -1), cobre con (r = -0.9), zinc con (r = -0,13); para el elemento plomo existe una correlación positiva con un valor de (r = -0,24). Señalando que existe mayor

relación negativa entre los elementos del suelo y la planta y en base al análisis de componentes principales (ACP) las especies (*I. brachyptera*, *I. edulis*, *I. feuilleei*) presentaron un 100% de variabilidad total de los datos, existiendo una mayor relación con la capacidad de bioconcentración cobre a nivel foliar, demostrando la aceptabilidad de las especies para la fitorremediación en suelos contaminados por la minería en la comunidad "El Capricho".

***Palabras* clave**: *Metales Pesados, Género Inga, Fitorremediación, Potencial Bioacumulador.*

Abstract

The use of forest species from the Inga genus for phytoremediation purposes was the objective of this research. The species that were the subject of study are: Inga brachyptera Benth. (guabilla), Inga edulis Mart. (guaba), Inga feuilleei DC., 1825 (pacay). These species are found on the banks of the Pinyoyacu River in the area known as El Capricho, Santa Clara, Pastaza, Ecuador. This location has been affected by mining extraction, negatively impacting the inhabitants who depend on the water from this river and the animals. To proceed with the bioconcentration factor analysis, the samples were first digested using hydrogen peroxide and concentrated nitric acid (H2NO3) through the use of the "ETHOS One High Performance Microwave Digestion System." Then, the samples were analyzed through the application of analysis of variance (ANOVA) for heavy metals (Zn, Cd, Fe, Pb), as well as Pearson correlation analysis, which can be used to reveal similar sources and thereby allow for greater accuracy. Finally, through cluster analysis, three groups were visualized based on their concentration of heavy metals (Fe, Co, Zn, Pb) at the leaf and soil levels. The ANOVA and Tukey's comparison test demonstrated that the species I. feuilleei has the greatest capacity to bioconcentrate heavy metals (iron at 0.20 mg/kg), copper at 0.75 mg/kg, zinc at 0.47 mg/kg), and I. edulis stands out in lead concentration with 0.055 mg/kg. The Pearson correlation matrix revealed a negative correlation between the metals: iron (r = -1), copper (r = -0.9), zinc (r = -0.13); for the lead element, there is a positive correlation with a value of (r = -0.24). This indicates a stronger negative relationship between the soil elements and the plant. Based on the principal component analysis (PCA), the species (I. brachyptera, I. edulis, I. feuilleei) showed 100% total data variability, with a greater relationship with leaf-level

copper bioconcentration. This demonstrates the suitability of the species for phytoremediation in soils contaminated by mining in the "El Capricho" community.

Keywords: *Heavy Metals, Inga genus, Phytoremediation, Bioaccumulator Potential.*

1. Introducción

La extracción minera es una de las actividades antropomórficas que más contaminan a los suelos, esta actividad realiza grandes cambios dentro del ambiente por su naturaleza extractiva, esta produce contaminación ambiental la cual es causada por los metales pesados vertidos hacia el medio ambiente y vegetación (Al-Rashdi & Sulaiman, 2013). Puesto que los metales pesados, son difíciles de purificar en suelos, estos se concentran en cultivos u otras plantas por transferencia a las mismos (Zarykhta et al., 2020). La minería ilegal en Ecuador es descontrolada y ha producido una severa contaminación ambiental, principalmente en cuanto a descargas de elementos potencialmente tóxicos (Carling et al., 2013) lo que influye de una manera negativa sobre el entorno. Los metales a pesar de algunos ser esenciales para los procesos biológicos de las plantas, en exceso llegan a ser tóxicos (De & Frachia, 2022).

Las especies forestales tienen como característica la absorción de metales que son tóxicos, las plantas o especies vegetales son extremadamente importantes puesto que estas cumplen la función de filtrar el aire del medio ambiente y se encargan de la liberación de oxígeno, normalizando la temperatura y acumulando sustancias potencialmente tóxicas (Greksa, et al., 2019). El uso de especies forestales para la fitorremediación de áreas contaminadas puede ser una alternativa para esta problemática, mediante el conocimiento sobre bioacumulación de metales en las especie forestales, la concentración de metales pesados es determinada mediante el factor de bioconcentración, definido como la relación entre la concentración total del contaminante en la planta y la concentración total del contaminante en el suelo (De & Frachia., 2022), con lo cual se podrán realizar acciones para la remediación de áreas contaminadas con estas especies.

La presente investigación tiene por objetivo determinar el potencial bioacumulador de los metales pesados: Zinc (Zn), plomo (Pb), cobre (Cu), hierro (Fe), de tres especies forestal del género Inga: *Inga brachyptera* Benth. (guabilla), *Inga edulis;*

Mart. (guaba), *Inga feuilleei* DC., 1825 (pacay), en la comunidad "El Capricho" en el cual existió un sitio de extracción minera.

2. Metodología

El estudio se realizó en la zona Ila en el sector el capricho en Carlos Julio Arosemena tola, en la provincia de Napo el sitio se encuentra a 300 m de donde existió actividad minera. Se colectaron muestras de hojas y suelo de las especies *I. brachyptera* (guabilla), *I. edulis* (guaba), *I. feuillei* (pacay) (figura 1).

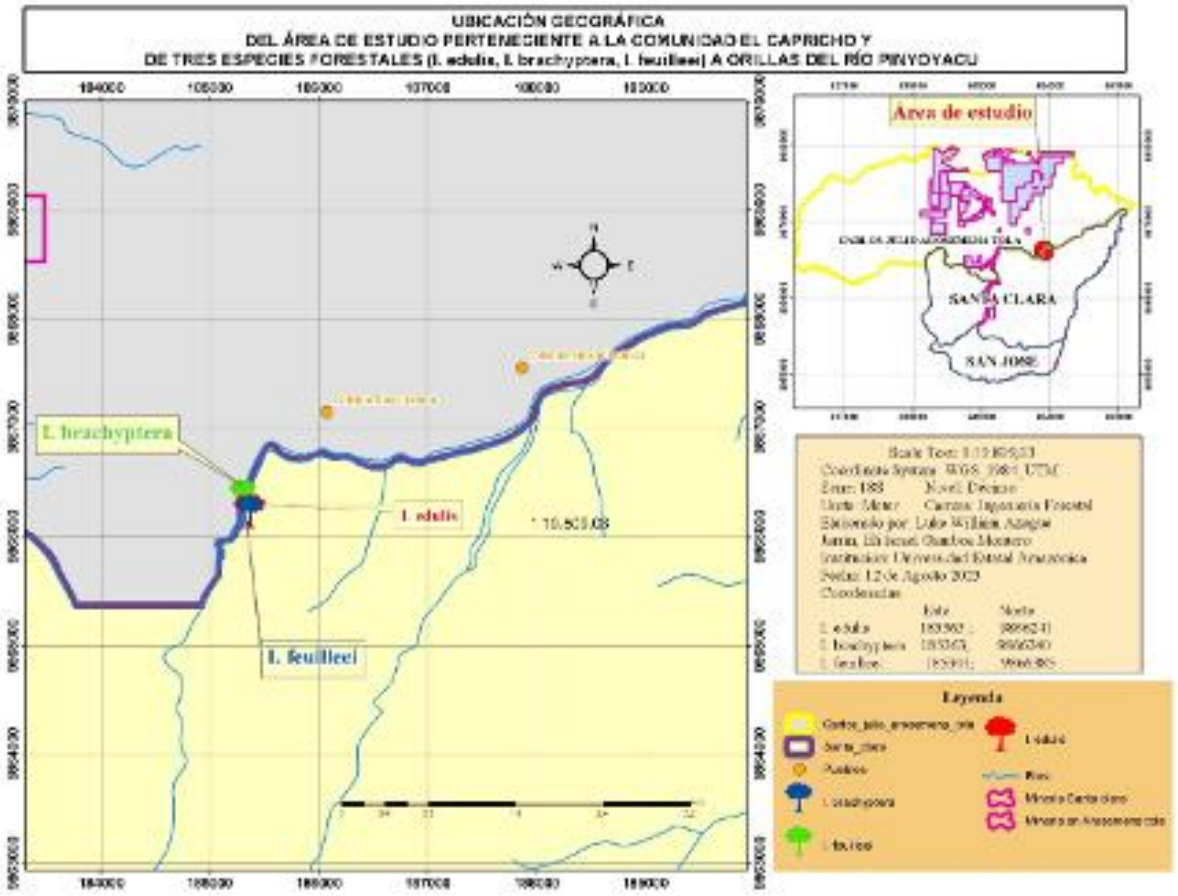


Figura1: *Ubicación geográfica del área de estudio y de las tres especies recolectadas en tejido vegetal y en el suelo. En la comunidad el capricho, río Pinyoyacu.*

2.1 Tipo de investigación

La investigación se realizada de forma descriptiva y analítica.

Es una investigación descriptiva por que se buscar la descripción del potencial bioacumulador de metales pesados en la familia inga a través de características y propiedades de las especies para fines de fitorremediación, de esta manera no solo se

busca el análisis, sino también la descripción de las propiedades de estas especies en el potencial bioacumulador. (Guevara et al., 2020).

Es una investigación analítica puesto que con los resultados de la investigación a partir de la recolección de hojas y suelo se obtendrá los datos de acumulación de metales pesados en el tejido foliar y en el suelo con los cuales podremos analizar qué tan propicio es la familia Inga, para fitorremediación en sitios de extracción minera (Lopera Echavarría et al., 2010).

2.2 Muestreo

Las muestras de material vegetal se obtuvieron a partir de la recolección de muestras de hojas en las especies *I. brachyptera* (guabilla), *I. edulis* (guaba) *I. feuillei* (pacay), seleccionadas en el área de estudio por medio de un matero (persona nativa el cual posee conocimientos sobre especies forestales) que labora en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA) el cual realizó la identificación de las especies, además se consultó en el libro de Árboles del Ecuador (Palacios, 2016) y material virtual ((The Plant List, 2019).

Las muestras de material vegetal y de suelo se recolectaron simultáneamente en cada lugar analizado, para la recolección de la muestra de hojas se seleccionaros las hojas con las mejores características, sin enfermedades, ni daños mecánicos, se guardaron las muestras en bolsas de polietileno (Agoramoorthy et al., 2009), las cuales fueron etiquetadas para el análisis de metales pesados Zinc (Zn), Plomo (Pb), cobre (Cu) y hierro (Fe). La muestra de suelo se obtiene después de limpiar la superficie de plantas indeseadas y hojarasca se tomaron en tres puntos alrededor de la planta con una profundidad de 0-30 centímetros, a una distancia de la especie a analizar de 30 cm (Abdul et al., 2021).

2.3 Análisis de muestras de hojas y suelo

Se realizó el análisis de muestras del material vegetal y de suelo por triplicado. Las muestras vegetales se lavaron con agua destilada para eliminar impurezas (Tankari Dan-Badjo et al., 2019). Las muestras se secaron en estufa con aire forzado por 72 horas a 60 ºC, se trituraron hasta obtener un material con partículas finas de tamaño de 2 mm o inferiores (Al-Rashdi & Sulaiman, 2013).

Se realizó la digestión con peróxido de hidrógeno y ácido nítrico (H_2NO_3) concentrado mediante el uso del equipo "ETHOS One High Performance Microwave Digestion System". Las muestra del materia vegetal y de suelo fueron etiquetadas, cada muestra se pesó en la balanza analítica 0,5 g y 0,2 g respectivamente cada una por triplicado , estas se colocaron dentro un recipiente de teflón, en las muestras vegetal con la ayuda de una pipeta, se colocaron 7 mL de ácido nítrico (H_2NO_3) concentrado al 65% y 1 mL de peróxido de hidrogeno (H_2N_2) al 30%, en la muestra de suelo se colocaron 10 mL de ácido nítrico (H_2NO_3) al 65%, los cuales fueron introducidos en el microondas con una potencia de 800 W, con una temperatura máxima de 170 ^oC, hasta llegar a 40 ^oC, en un tiempo determinado (Agoramoorthy et al., 2009).

Una vez realizada la digestión se transfiere las muestras a la campana de extracción de gases, para disipar el gas que expide al abrir el envase, cada muestra se diluye cuantitativamente con una solución de peróxido de hidrogeno (H_2N_2) y ácido nítrico (H_2NO_3) concentrado se coloca la muestras en envases cilíndricos y se procede a colocar en refrigeración hasta que las muestras tengas una temperatura de 6 ^0C, se retira la muestra de refrigeración y se procede a filtrar con papel filtro Whatman, se colocan en vasos de precipitación. Una vez filtrada cada muestra, se realiza la cuantificación de metales, la cual se realizó en un espectrómetro de absorción atómica, las concentraciones se expresaron en mg/kg con base en peso seco (Garg et al., 2014). Para determinar el factor de bioconcentración (FBC) se procede a utilizar la fórmula:

$$\boldsymbol{FBC = {C_{follaje}}/{C_{suelo}}}$$

Esta fórmula permite determinar la absorción que las especies tienen, en cuanto a la concentración de metales pesados en el suelo, determinando cual es la concentración de estos metales en la especie, por la incidencia de los metales en el suelo, se utiliza el FBC para determinar los metales retenidos en cada especie, por cada uno de los metales (Wang et al., 2019).

2.4 Análisis de datos

Para el análisis de datos las muestras son procesadas en el sofware Oringin 2022, se realiza el análisis de varianza (ANOVA), además se realiza pruebas de comparación, media de tukey, el cual tiene una confiabilidad del 95%, para la concentración de metales

pesados(Zn, Pb, Cu, Fe,) a nivel foliar, en el suelo y el factor de bioconcentración en las tres especies de la familia Inga (*I. brachyptera*, *I. edulis*, *I feuillei*).

Con los datos de parámetros se elaboró una tabla la cual es una matriz de correlación de person, así se examina los metales relación a los datos de las muestras de material vegetal y de suelo los datos oscilan entre 0-1 los que más se acercan a 1 indica que la correlación con el metal es mucho más fuerte, estos datos plasmados en el análisis de clúster presentado en los anexos (tabla1), para la interpretación de la correlación de especies y cuales se diferencian con los metales se aplicó el grafico circular, así teniendo en cuenta la incidencia de estos en ciertas especies, se realiza un método de estadística multivariado el cual es análisis de componentes principales (ACP), con la finalidad de obtener los datos de metales mostrado en los anexos (Tabla 2), además mediante la aplicación del sistema bidimensional de coordenadas se puede separar las especies de las concentraciones de metales pesados en el área de estudio, se tabulan los datos y se realizan las tablas presentes en anexos (Takarina & Pin, 2017).

3. Resultados

Se presento los datos estadísticos por medio de un diagrama de cajas (Xiao et al., 2021) en el cual se realizó dentro del estudio, un glosario con el que permitirá guiar en los conceptos empleados en los resultados:

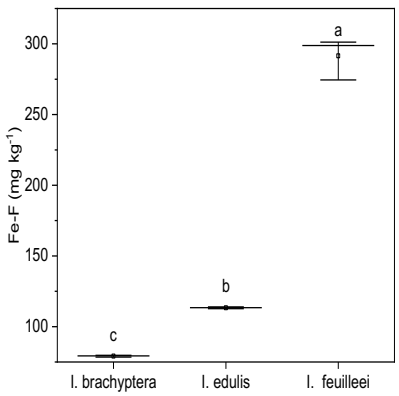
Abreviatura	Definición	Abreviatura	Definición
Fe-S	Hierro en el suelo	Pb-F	Plomo a nivel foliar
Fe-F	Hierro a nivel foliar	Pb-S	Plomo en el suelo
Cu-S	Cobre en el suelo	FB-Fe	Factor de bioconcentración en Hierro
Cu-F	Cobre a nivel foliar	FB-Zn	Factor de bioconcentración en Zinc
Zn-S	Zinc en el suelo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

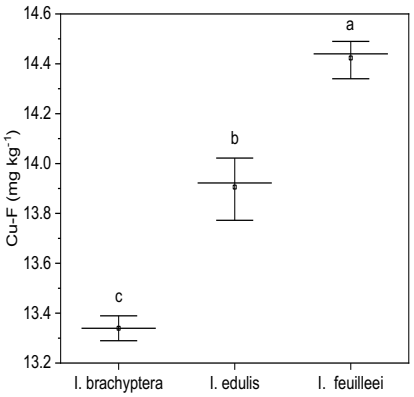
Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 3*: Glosario para facilitar la lectura en el análisis de datos de metales pesado: cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), zinc (Zn)) en tejido foliar (F), en el suelo (S) y el factor de bioconcentración (FB)*

3.1 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de tukey a nivel foliar

Los resultados se obtuvieron a través de la aplicación de análisis de varianza (ANOVA) en los metales pesados (Zn, Cd, Fe, Pb) para la muestra foliar en las especies (*I. brachyptera*, *I. edulis*, *I feuillei*), en la (figura 2) se presentó que existió diferencias significativas en el análisis de los metales (Fe- F), (Zn-F) y (Cu-F), puesto que sus letras son diferentes, sin embargo en (Pb-F) existieron semejanzas entre las especies (*I. brachyptera*, *I. edulis I. feuillei)* por que se visualiza la misma letra, en el análisis de (Fe-F) se obtuvo que *I. feuillei*, tiene mayor capacidad de absorción de este metal con un valor de 300 mg/kg, en el análisis de (Cu-F), *I. feuillei* presento el valor de mayor capacidad de absorción, un valor de 14,4 mg/kg, en el análisis de (Zn-F), *I. edulis* presento la mayor capacidad de absorción con un valor de 33 mg/kg, en el análisis de (Pb-F), *I. edulis* obtuvo la mayor capacidad de absorción, con un valor de 1,5 mg/kg, además de esto se observó que *I. brachyptera*, obtiene la menor capacidad de absorción de los cuatro metales con un valor de 10 mg/kg en (Fe-F), se obtuvo que posee un valor de 13,3 mg/kg en (Cu-F), se presentó un valor de 58 mg/kg en (Zn-F) y se obtuvo un valor de 23 mg/kg en (Pb-F), además la especie *I. edulis* presento una capacidad de absorción media para (Fe-F) con un valor de 125 mg/kg y en (Cu-S) con un valor de 13.7 mg/kg, *I. feuillei* demostró en el metal (Zn-S) un valor de absorción de 28 mg/kg, también presento una media capacidad de concentración en (Pb-S) con un valor de 0,9 mg/kg.





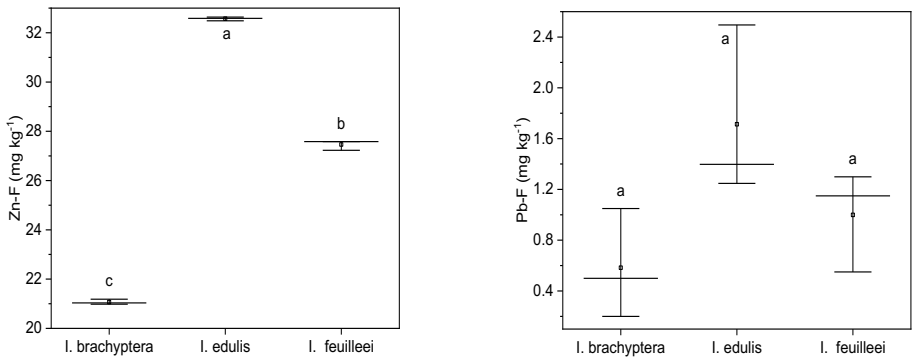


Figura 2. *En la figura se muestra el análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con niveles de significación (p≤0,05). Resultados de la concentración de cuatro metales (Zn), (Cd), (Fe), (Pb) para nivel de tejido foliar en las especies (I. brachyptera, I. edulis, I feuillei).*

3.2 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de tukey a nivel de suelo

Se obtuvo a través de la aplicación de análisis de varianza (ANOVA) en los metales pesados (Zn, Cd, Fe, Pb) para la muestra foliar en las especies (*I. brachyptera*, *I. edulis*, *I feuillei*), se observó que existe diferencias significativas en el análisis de los metales (Fe- S) mg/kg y (Zn-S) mg/kg, puesto que sus letras son diferentes; además existieron semejanzas entre (Cu-S) y (Pb-S) respecto a las especies (*I. brachyptera*, *I. edulis).* En el análisis de (Fe-S) se obtuvo que *I. brachyptera*, tiene mayor capacidad de concentración de este metal con un valor de 1500 mg/kg, en el análisis de (Cu-S), presento el valor de mayor capacidad de concentración con un valor de 54 mg/kg, en el análisis de (Zn-S), *I. brachyptera* tuvo la mayor capacidad de concentración con un valor de 84 mg/kg, en el análisis de (Pb-S) existió un cambio puesto que *I. edulis* obtuvo la mayor capacidad de concentración con un valor de 32 mg/kg. Además de esto se observó que *I. feuillei* obtiene la menor capacidad de absorción de los cuatro metales en (Fe-S) con un valor de 1485 mg/kg, en (Cu-S) con un valor de 18 mg/kg, en (Zn-S) con un valor de 58 mg/kg y en (Pb-S) con un valor de 23 mg/kg, se entiende que la especie *I. edulis* presento una alta capacidad de concentración para (Fe-S) con un valor de 1550 mg/kg, (Cu-S) con un valor de 49 mg/kg y en (Zn-S) con un valor de 82 mg/kg. *I. brachyptera*, también presento una alta capacidad de concentración en (Pb-S) con un valor de 31 mg/kg.

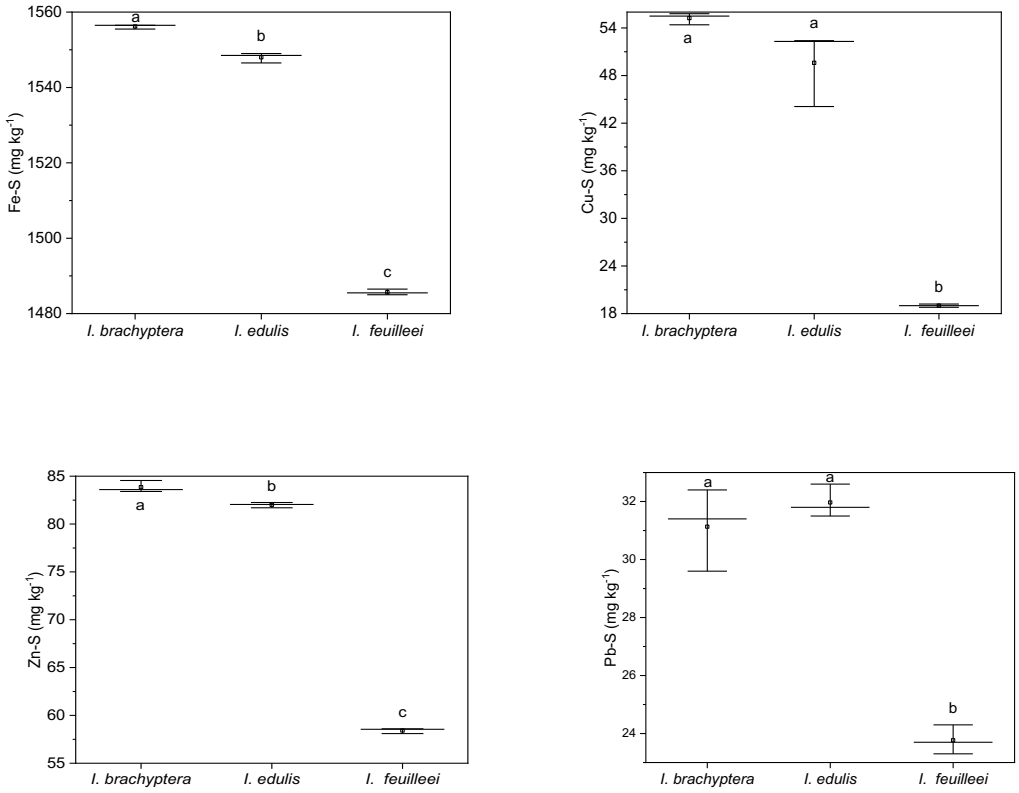


Figura 3. *En la figura se muestra el análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con niveles de significación (p≤0,05). Resultados de la concentración de cuatro metales (Zn), (Cd), (Fe), (Pb) para el nivel de suelo en las especies (I. brachyptera, I. edulis, I. feuillei).*

3.3 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de tukey en el factor de bioconcentración

Se calculo mediante el factor de bioconcentración (FBC) la acumulación de metales pesados (Zn, Cd, Fe, Pb) en las especies (*I. brachyptera*, *I. edulis*, *I. feuillei*), se observa que existe diferencias significativas en el análisis de los metales (FB-Fe) y (FB-Zn), puesto que sus letras son diferentes; además en (FB-CU) existieron semejanzas entre *I. brachyptera* e *I. edulis,* en el cual *I. feuillei* sobresale con un comportamiento diferenciado, y a su vez se denota semejanzas en (Pb-S) respecto a las especies (*I. brachyptera*, *I. edulis, I. feuillei).* En el análisis de (FB-Fe) se obtuvo que *I. feuillei*, tiene mayor capacidad de bioconcentración de este metal con un valor de 0,20 mg/kg , *I. feuillei* en el análisis de (FB-Cu), presento el valor de mayor capacidad de bioconcentración con un valor de 0,77 mg/kg , en el análisis de (FB-Zn), *I. feuillei* obtuvo

mayor capacidad de bioconcentración con un valor de 47 mg/kg, en el análisis de (FB-Pb) existió un cambio puesto que *I. edulis* tiene la mayor capacidad de bioconcentración con un valor de 0,7 mg/kg, además de esto se observó que *I. brachyptera* tiene la menor capacidad de bioconcentración de los cuatro metales, en (FB-Fe) con un valor de 0,05 mg/kg, en (FB-Cu) con un valor de 0,1 mg/kg ,en (FB-Zn) con un valor de 0,1 mg/kg y en (FB-Pb) con un valor de 0,02 mg/kg, además se entiende que la especie *I. edulis* presento una baja capacidad de bioconcentración para (FB-Fe) con un valor de 0,08 mg/kg y para (FB-Cu) con un valor de 0,03 mg/kg, se denota que en la especie *I. edulis* en (FB-Zn) presento un valor alto de bioconcentración de 0,40 mg/kg, *I. feuillei*, presento una baja capacidad de bioconcentración en (FB-Pb) con un valor de 0,04 mg/kg.

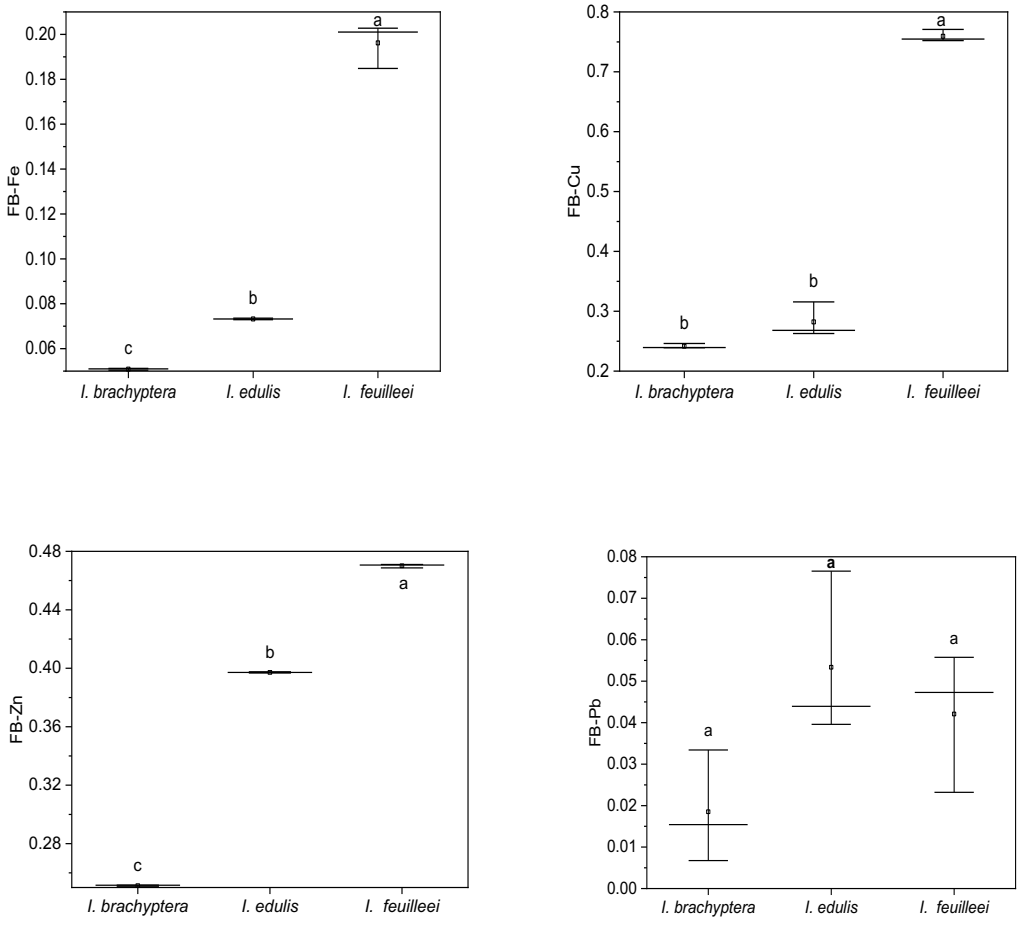


Figura 4. *En la figura se muestra el análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con niveles de significación (p≤0,05). Resultados de la concentración de cuatro metales (Zn), (Cd), (Fe), (Pb) para el factor de bioconcentración en las especies (I. brachyptera, I. edulis, I. feuillei).*

3.4 Coeficiente de correlación de Pearson:

Se presento la matriz de correlación de person en el cual podemos observar que existe una correlación negativa entre (fe-F) y (fe-S) de (r= -1) esto quiere decir que es muy débil, en (Cu-F) y (Cu-S) la correlación es negativa con un valor muy débil de (r= -0,9) en la correlación de observo que es negativa (Zn-F) y (Zn-S) con un valor poco débil de (r= -0,13), la correlación de (Pb-F) y (Pb-S) tuvo un valor positivo de (r= 0,24), se observó que la correlación de (FB-Fe) y (FB-Cu) fue positiva obtuvo un valor muy fuerte de (r= 0,99), la correlación de (FB-Cu) y (FB-Zn) presento un valor de correlación positiva fuerte con un valor de (r= 0,8), la correlación de (FB-Pb) y (FB-Cu), presento un valor de correlación positiva poco fuerte con un valor de (r= 0,21), la correlación de (FB-Fe) y (FB-Pb), obtuvo un valor de correlación positiva fuerte con un valor de (r= 0,99), la correlación de (FB-Zn) y (FB-Pb) muestra un valor de correlación positiva poco fuerte con un valor de (r= 0,27), la correlación de (FB-Zn) y (FB-Fe), presento un valor de correlación positiva fuerte con un valor de (r= 0,84).

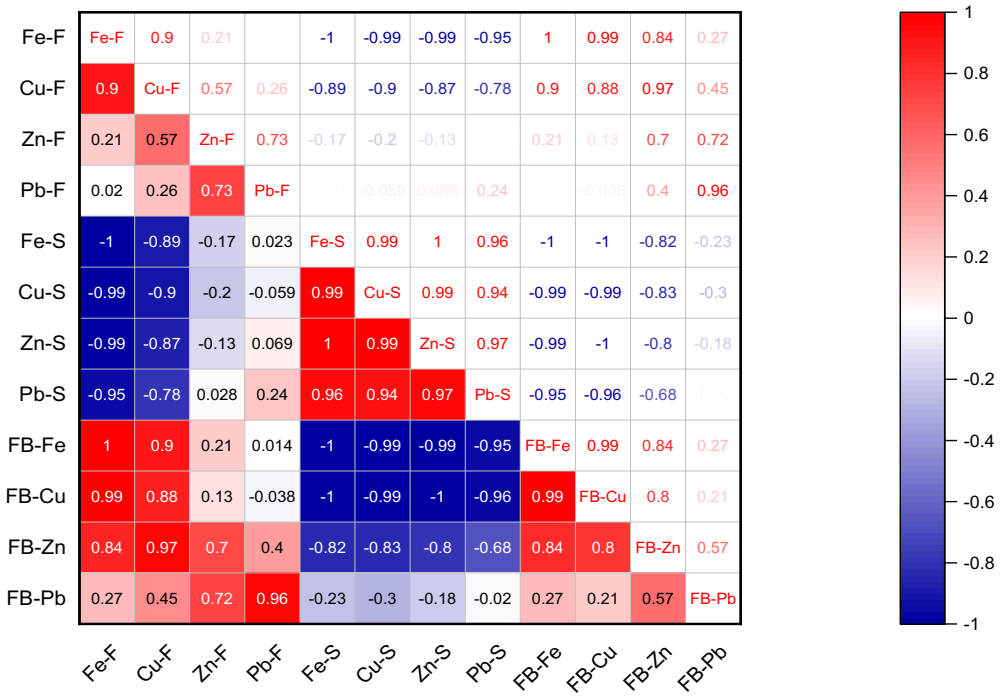


Figura 5. *Se obtiene la matriz de correlación de Pearson entre los metales pesados (Fe), (Cu), (Zn), (Pb) a nivel del suelo, tejido foliar y potencial bioacumulador.*

3.5 Análisis de clúster

Mediante el análisis de clúster se visualizó tres grupos en función de su concentración de metales pesados (Fe, Co, Zn, Pb) a nivel foliar y en el suelo. El primer grupo lo conformó la especie *I. edulis* en relación a la concentración de hierro a nivel foliar y en el suelo; el segundo grupo posee un mayor número de asociaciones entre los metales: cobre (*I. edulis* a nivel foliar y en el suelo*; I. feuillei* en el suelo), plomo (*I. edulis* y *I. feuillei* en el suelo*),* zinc (*I. edulis* a nivel foliar y en el suelo*; I. feuillei* en el suelo*)*. En el tercer y último grupo se encuentra la especie *I. feuillei* asociado a su capacidad de captar el metal hierro en el suelo. El análisis de conglomerados ordena elementos en grupos de asociación/similitud de forma que los objetos de un mismo grupo sean muy similares entre sí, y los objetos de clústeres diferentes sean distintos. Como lo menciona (Quinteros et al., 2012) en su estudio; donde el análisis de conglomerados o clúster presentó tres grupos diferenciados. De izquierda a derecha, el primer y cuarto grupo son bien diferenciados, mientras que el segundo y el tercero presentan estrechas diferencias. En comparación al estudio, la clasificación de grupos permitió descubrir asociaciones y estructuras con estrechas diferencias entre los metales cobre (Cu), plomo (Cu), zinc (Zn) y las especies *I. edulis, I. feuillei*; también existen dos grupos bien diferenciados en relación al metal hierro (Fe) y las especies *I. edulis, I. feuillei*. Con el fin de obtener mayor información sobre elementos similares y diferenciados, el análisis de conglomerados o clúster crea grupos homogéneos (Alsehli, 2021), (Carrión et al., 2012).

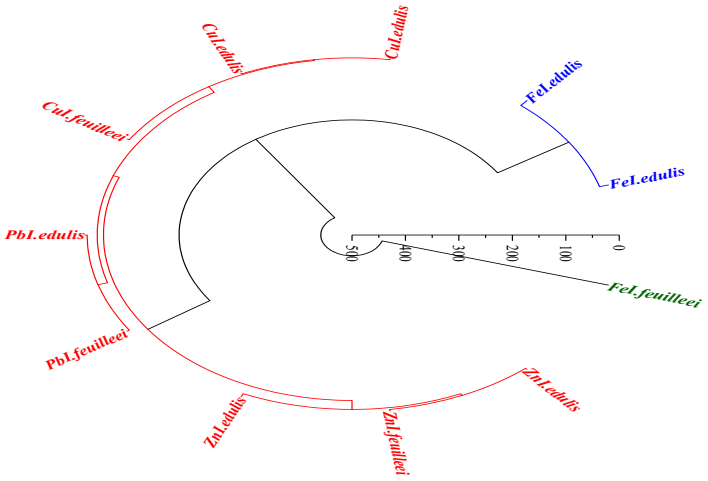


Figura 6. *Análisis de CLUSTER, agrupación establecida a partir de la concentración de los metales pesados (Fe, Zn, Cu y Pb) en las hojas de las especies (I. brachyptera, I. edulis, I. feuillei). Colores iguales simbolizan la formación de grupos relacionados a la capacidad acumulativa de los metales pesados)*

3.6 Análisis de componentes principales (ACP)

Se efectuó el método de estadística multivariada conocido como análisis de componentes principales (ACP) para establecer la separación de las especies analizadas en dependencia de las concentraciones de metales pesados a nivel del suelo y foliar. El análisis reportó dos componentes principales, el componente principal 1 (PC1) con el 75,95% de variabilidad y el componente principal 2 (PC2) con 24,05% de variabilidad, lo que explicó el 100% de la variabilidad total de los datos obtenidos en la matriz. En el lado positivo del eje 1 perteneciente al PC1, se visualizó que la capacidad de absorver zinc a nivel foliar presenta una menor relación a la capacidad de capturar en el suelo los metales (Zn, Cu, Pb); en el lado negativo del eje 1, se observó que la capacidad de absorver cobre a nivel foliar muestra una menor relación con la capacidad de bioconcentrar hierro. Para el eje 2, se observó que la capacidad de absorver plomo a nivel foliar muestra una mayor relación con la capacidad de bioconcentrar cobre.

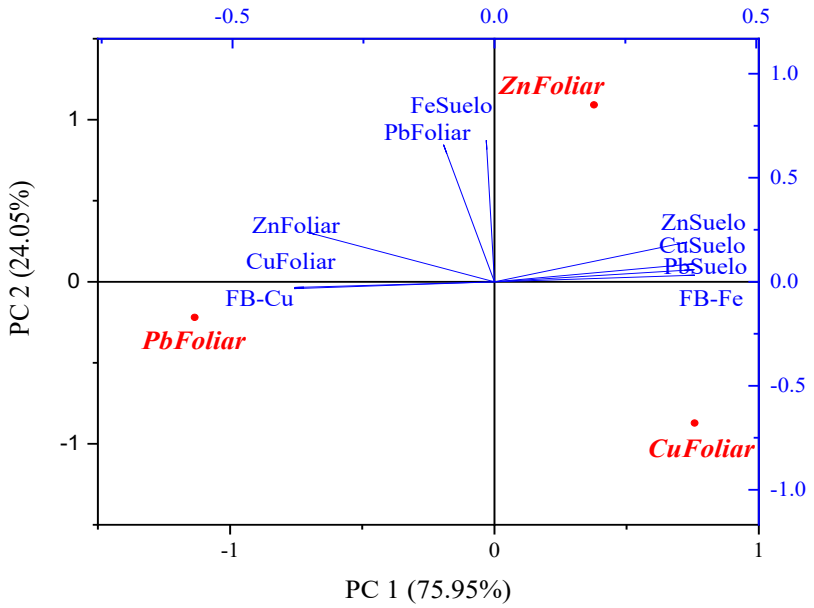


Figura 7. *Análisis de componentes principales de las concentraciones de metales pesados y factor de bioconcentración de Fe, Zn, Cu, Pb en hojas y suelos de las especies (I. brachyptera, I. edulis, I. feuillei*)

4. Discusión

El factor de bioconcentración (FBC), expresa el potencial de acumulación de los metales hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) a nivel foliar y en el suelo; la característica de una planta hiperacumulativa radica en su factor de bioconcentración, el cual deber ser mayor a 1 mg/kg para ser considerada como bioacumuladora (Takarina & Pin, 2017b). En contraste, el presente estudio reveló que la especie *I. feuilleei* se perfila más como especie fitorremediadora debido a que presentó mayor capacidad de bioconcentrar los metales: hierro (con el valor de mg/kg), cobre (con el valor de 0,77 mg/kg), zinc (con el valor de 0,47 mg/kg); a partir de la concentración de metales pesados a nivel foliar y en el suelo, cuanto mayor sea su FBC, más fuerte será la acumulación de los metales pesados (Wang et al., 2019b). De igual manera la especie *I. edulis* presentó los valores más alto en relación a su capacidad de bioconcentrar plomo (con un coeficiente de 0.55 mg/kg). La especie *I. brachyptera* se destaca por su comportamiento similar con *I. edulis* y *I. feuilleei* al bioconcentrar plomo (Pb) y cobre (Cu) con la especie *I. edulis*; además, presenta los valores más bajos, pero no negativos al bioconcentrar hierro (Cu), cobre (Cu) y zinc (Zn). Se puede entender que el uso de especies arbóreas en la fitorremediación tiene un potencial prometedor para el biomonitoreo y limpieza de áreas contaminadas por metales pesados (Al-Sayaydeh et al., 2022).

El análisis de correlación se puede utilizar para revelar fuentes similares, donde una correlación positiva indica una alta posibilidad de fuentes iguales. Por lo tanto, (Xiao et al., 2021b), (Buendía et al., 2014), (Greksa, Ljevnaić-Mašić, et al., 2019), (Al-Rashdi & Sulaiman, 2013b), (Núñez et al., 2017) mencionan que al analizar las correlaciones entre los metales a nivel foliar y en el suelo, se identifican fuentes similares para estos elementos y donde una correlación sea negativa indica una baja posibilidad de fuentes iguales; en sus estudios se muestran relaciones positivas muy fuertes: entre Ni y Co; cromo (Cr) y níquel (Ni); cromo (Cr) y cobalto (Co); cadmio (Cd) y plomo (Pb); zinc (Zn) y bario (Ba) fueron fuertes ($r \geq 0{,}01$). En contraste, los metales analizados presentaron a nivel foliar y en el suelo correlaciones negativas en hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), revelando que estos elementos estan afectados por factores diferentes. Las correlaciones fuertes, muy fuertes o positivas se puede visualizar el el metal plomo (Pb), FB-Cu y FB-Fe, FB-Zn y FB-Fe, FB-Zn y FB-Cu, FB-Pb y FB-Zn; indicando que estos

elementos pueden derivarse de las mismas o similares fuentes y/ o estar afectados por factores similares.

Varios estudios evaluados han recomendado el uso de técnicas de fitorremediación para eliminar la contaminación por metales pesados, seleccionando plantas resistentes para remediar suelos contaminados por la minería (Bini et al., 2017; Domínguez et al., 2008; Jiménez et al., 2011; Wang et al., 2019b; Zhan et al., 2014). Lo que con lleva un menor coste de reparación y puede aplicarse en grandes superficies, recuperar sedimentos, aguas contaminadas y eliminando los contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos (Salt et al., 1998), (Gamalero et al., 2009; Liu & Liu, 2015; Moore et al., 2016; Wang et al., 2019b). Actualmente, no existe la suficiente información o estudios enfocados en la capacidad de absorción de metales pesados en especies del gérero Inga como son: *I. brachyptera, I. edilis, I. feuilleei* para tomarlas en cuenta como especies fitorremediadoras. No obstante, los pocos estudios hablan de la especie *I.* edulis, cual resulta eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados por hierro, plomo en la minería (Vargas Simón, 2017), (Salas, 2015), (Rebaza & Flores, 2022), (Mogollón Rivera et al., 2018). También el uso de *I. brachyptera* y *I. feuilleei* en áreas contaminadas por plomo (Pb) y cobre (Cu), siempre y cuando la concentración de metales pesados resultante no superan los valores máximos permisibles (Ataucusi & Bellido, 2022), (Tapullima, 2021). La concentración de metales pesados resultante no superan los valores máximos permisibles, como los valores establecidos para criterios de remediación donde se reporta para Zn un valor mayor o igual a 60 mg/kg, Pb un valor mayor o igual a 19 mg/Kg, Cu con valor de 25 mg/kg y para Fe 0,3 mg/kg (Presidencia de la Republica, 2017), (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2017)

5. Conclusiones

El análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación Tukey demostró que la especie: *I. feuilleei* posee la mayor capacidad de bioconcentración de metales pesados en: (hierro con 0.20 mg/kg), (cobre con 0.75 mg/kg), (zinc con 0.47 mg/kg), e *I. edulis,* sobresale en la concentración de plomo con (0.055 mg/kg) por lo que estas especies pueden ser consideradas para fines de fitorremediación en áreas contaminadas por las prácticas de extracción minera.

La matriz de correlación de Pearson reveló que existe una correlación negativa entre los metales: hierro con (r = -1), cobre con (r = -0,9), zinc con (r = -0,13); para el

elemento plomo existe una correlación positiva con un valor de (r = -0,24). Señalando que existe mayor relación negativa entre los elementos del suelo y la planta, lo que puede estar determinado por la capacidad de bioacumulación de cada especie y su propia fisiología.

En base al análisis de componentes principales (ACP) las tres especies (*I. brachyptera*, *I. edulis*, *I. feuilleei*) presentaron un 100% de variabilidad total de los datos, existiendo una mayor relación con la capacidad de bioconcentración de cobre a nivel foliar. Estos resultados demostraron la aceptabilidad de las especies para la fitorremediación en suelos contaminados por la minería en la comunidad "El Capricho".

Referencias

Abdul, O., Aswad, K., Zaki2, H. F., Ati, M., Ajmi4, R. N., & Ati, E. M. (2021). Bioconcentration Factor Of Mercury Element In Mosul City, Northern Of Iraq. In *Systematic Reviews in Pharmacy* (Vol. 12, Issue 2).

Agoramoorthy, G., Chen, F. A., Venkatesalu, V., & Shea, P. C. (2009). Bioconcentration of heavy metals in selected medicinal plants of India. *Journal of Environmental Biology*, *30*(2), 175–178. http://www.jeb.co.ininfo@jeb.co.in

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

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

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

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

Antón de los Ángeles, A. (2013). *Evaluación de crecimiento inicial en tres especies del género Inga en sistema agroforestal* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Ataucusi, R., & Bellido, E. (2022). *Fitoextracción de mercurio asistida con humus de lombriz usando Artemisia absinthium en un suelo contaminado de Huancavelica*. 112.

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

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

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

Carrión, C., León Ponce-de, C., Cram, S., Sommer, I., Hernández, M., & Vanegas, C. (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (Eichhornia crassipes) en xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, *46*(6), 609–620.

De, C., & Frachia, L. (2022.). *UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE DE ENGENHARIA CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA*.

Del, M., & Ángeles González-Chávez, C. (2005). *RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS UTILIZANDO PLANTAS Y MICROORGANISMOS RIZOSFÉRICOS † Remediation of Soils Polluted with Heavy Metal Using Plants and Rhizospheric Microorganisms*.

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

Estupiñan, R., Romero, P., García, M., Garcés, D., & Valverde, P. (2021). Mining in Ecuador. Past, present and future. *Boletin Geologico y Minero*, *132*(4), 533–549. https://doi.org/10.21701/bolgeomin.132.4.010

Ferrer, Y. R. (2015). Seguimiento en el tiempo de la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros. *Luna Azul*, *42*, 256–269. https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.16

Flores, D. C., & Elvira, J. (n.d.). *Tesis: Efecto antiinflamatorio y analgésico del extracto etanólico de la cáscara Inga feuillei*.

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

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

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

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

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

Isminio Ramirez, M. A. (2006). Estimación del carbono en la biomasa aérea del café (coffea arabica var. Catimor) bajo sombra de guaba (inga edulis) en la provincia de Lamas-Perú.

Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad ftorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biologia*, *21*(2), 145–154. https://doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817

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

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

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

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

Mogollón Rivera, C. E., Parrilla Vinces, Y., Sotero Yglesias, P., & Valderrama Barreto, D. (2018). REMOCIÓN DE METALES PESADOS CON Urtica urens L. EN SUELOS CONTAMINADOS DEL DISTRITO DE HUAMACHUCO, PROVINCIA SÁNCHEZ CARRIÓN, LA LIBERTAD. *Calidad y Gestión de Los Recursos Naturales*, *Mi*, 5–24.

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

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

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

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

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

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

Quinteros, P., Tripaldi, P., & Ansaloni, R. (2012). Comparación química de suelos en distintas coberturas vegetales del PNC mediante métodos de clúster análisis. *II Congreso Binacional De Investigación, Ciencia Y Tecnología De Las Universidades*, 746–764.

Rebaza, Y. L. G., & Flores, K. E. J. (2022). *" Análisis de la eficiencia para la remediación con Brassica juncea, Cecropia peltata y Urtica urens en suelos contaminados por minería. de 2010 al 2021 ."* 1–62.

Restrepo Cardona, A., Orrejo Uribe, V., & Zapata Serna, G. E. (2020). *Minería ilegal en el bajo cauca antioqueño, impactos, causas y problemáticas* (Issue 1).

Salas, J. D. (2015). Evaluacion de la capacidad fitorremediadora de Inga edulis Mart, en un area degradada por mineria aurifera en el distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Region de Madre de Dios. *Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios.*, 0–33.

Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). PHYTOREMEDIATION. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *49*(1), 643–668. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643

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

Tankari Dan-Badjo, A., Ibrahim, O. Z., Guéro, Y., Morel, J. L., Feidt, C., & Echevarria, G. (2019). Impacts of artisanal gold mining on soil, water and plant contamination by trace elements at Komabangou, Western Niger. *Journal of Geochemical Exploration*, *205*. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.06.010

Tapullima, J. (2021). CAPACIDAD DE REMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES CON MAIZ VAR. CHINGASINO (ZEA MAYS L.) ASISTIDO POR BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR)". *Universidad Científica Del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Ingeniería Ambiental.*, 1–126.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, T. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA. *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003*, *3399*, 1–578.

Tifarouine, L., Boutahar, L., Benabbou, A., Rguibi Idrissi, H., Bouarakia, O., Benmokhtar, S., ... & Benhoussa, A. (2022). Evaluation of bioconcentration of trace elements in the Western Mediterranean mouse Mus spretus at two Moroccan wetland sites. *Biologia*, *77*(10), 2843-2855.

Vargas Simón, G. (2017). Inga jinicuil Schtdl. Árbol multiuso.

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

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

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

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

Anexos

Tabla 1, análisis clúster de metales pesados en el género Inga

Nivel foliar		Fe	Cu	Zn	Pb	En el suelo		Fe	Cu	Zn	Pb
I. brachyptera	R1	79,74	13,39	20,98	0,20	*I. brachyptera*	R1	1556,5	54,40	83,40	29,60
I. brachyptera	R2	78,44	13,29	21,03	0,50	*I. brachyptera*	R2	1556,5	55,50	83,60	32,40
I. brachyptera	R3	79,34	13,34	21,18	1,05	*I. brachyptera*	R3	1555,5	55,800	84,55	31,40
I. edulis	R1	112,72	13,92	32,49	2,50	*I. edulis*	R1	1546,5	44,10	81,70	32,60
I. edulis	R2	113,42	13,77	32,63	1,40	*I. edulis*	R2	1548,5	52,40	82,25	31,80
I. edulis	R3	113,97	14,02	32,58	1,25	*I. edulis*	R3	1549,0	52,300	82,05	31,50
I. feuilleei	R1	274,49	14,49	27,23	0,55	*I. feuilleei*	R1	1485,0	18,80	58,10	23,70
I. feuilleei	R2	298,82	14,34	27,58	1,30	*I. feuilleei*	R2	1486,5	19,00	58,6	23,30
I. feuilleei	R3	301,22	14,44	27,58	1,15	*I. feuilleei*	R3	1485,5	19,200	58,55	24,30

Tabla 2: ACP

VALORES MEDIOS DE METALES PESADOS EN HOJAS Y SUELO POR PLANTA

Especie	FeFoliar	CuFoliar	ZnFoliar	PbFoliar	FeSuelo	CuSuelo	ZnSuelo	PbSuelo

I.brachypte ra	79,170	13,339	21,066	0,583	1556,16 7	55,233	83,850	31,133
I.edulis	113,37 3	13,906	32,568	1,713	1548,00 0	49,600	82,000	31,967
I.feuilleei	291,50 8	14,423	27,463	0,999	1485,66 7	19,000	58,417	23,767

Marco teórico

A partir de la necesidad del ser humano para obtener recursos minerales del suelo y esta estar ligada a la contaminación, se requiere una solución de tal manera que sea sustentable además de ser accesible, para que se genere una remediación adecuada en el suelo y en base a esto ocupar especies forestales que ayuden a solucionar esta problemática, para esto se define conceptos claves necesarios para el buen entendimiento del artículo.

Minería.

Actividad antropogénica dedicada a la extracion de minerales del suelo que ocasiona grandes cambios dentro de los sistemas (Xiao et al., 2021), esto ha causado graves daños sobre el entorno y el medio ambiente, por lo que en la actualidad existe una degradación ambiental importante (Ferrer, 2015), en los sitios que fueron intervenidos con la actividad, además la minería es considerada entre los trabajos más peligrosos (Estupiñan et al., 2021) para el ser humano y contaminante para el medio ambiente.

- Minería ilegal :La minería ilegal nace a partir la omisión de leyes hechas para mitigar los efectos de la minería en el ambiente, puesto que al no estar ligados a la ley y no tener licencias tienen mayores beneficios económicos, sin importar la remediación ambiental, y parámetros conformes a la ley (Restrepo Cardona et al., 2020) La minería de oro artesanal y en pequeña escala se encuentra entre las fuentes más importantes de metal en los ecosistemas, realizándose por medios alegados a la ley lo que provoca una grave contaminación (Xiao et al., 2021).

Metales pesados

Son metales pesados se encuentran naturalmente en suelos, rocas, aguas y organismos en formas y concentraciones específicas (Xiao et al., 2021) estos metales están presentes en los desechos mineros los cuales se liberan fácilmente al medio ambiente con efectos potencialmente adversos para los ecosistemas(Jiménez-Oyola et al., 2021), se concentran en el suelo causando lignificaciones y en su gran mayoría reduciendo la fertilidad del suelo.

- Metales pesados en seres vivos: Los metales pesados concentrados en los suelos afectan a las comunidades biológicas (Mountouriset al., 2002) cuando los niveles de estos metales exceden en plantas y animales, pueden producir una variedad de efectos agudos y crónicos en una amplia gama de organismos en varios ecosistemas, para los organismos existen elementos esenciales para su correcto funcionamiento, el Hierro (Fe) y Zinc (Zn) son esenciales para los o organismos sin embargo llegan a ser tóxicos en niveles altos e infieren dentro del funcionamiento de los organismos (Tifarouine et al., 2022), el plomo (Pb) es un metal pesado altamente toxico y su presencia en el ambiente se debe principalmente a la intervención antropomórfica dando resultado a actividades de industria, minería y extractivista. (Prieto Méndez et al., 2009).

Remediación ambiental

La remediación ambiental surge a partir de cambios que se da en el medio ambiente a causa de la contaminación con el fin de minimizar los efectos de actividades antropomórficas en cuanto al entorno, así buscando la sustentabilidad por medio de cambios a estas actividades.(Ferrer, et, al., 2015), se debe tomar en cuenta varias definiciones como son:

- Plantas bioacumuladoras: Para la remediación ambiental existen métodos de recuperación de suelos a partir de especies vegetales puesto que las plantas son extremadamente importantes en las áreas urbanas debido a su papel en el filtrado del aire ambiental y la liberación de oxígeno, normalizando la temperatura del aire y acumulando sustancias potencialmente tóxicas (Greksa, P. et al., 2019) el uso de plantas representa una alternativa de bajo costo y con enormes ventajas ambientales.(Del & Ángeles González-Chávez, al 2005.)

- Fitorremediación: Se refiere a la tecnología sustentable que a través de especies vegetales se trata de reducir la concentración de elementos contaminantes ya sean químicos, orgánicos metales pesados, sedimentos, ya sean in situ/ex situ, eliminando los contaminantes del ambiente o haciéndolos inocuos (Jara-Peña et al., 2014)
- Factor de bioconcentración: El factor de bioconcentración (FBC) es la concentración de metales pesados en el tejido vegetal respecto a los niveles de concentración en el suelo (Alderete-Suarez et al., 2019) cuanto mayor sea el (FBC) mayor es la capacidad de acumulación de metales pesados en las plantas(Wang et al., 2019) y este debe ser mayor a 1 mg/kg^{-1} para considerar a la especie bioacumulador.(Tankari Dan-Badjo et al., 2019)

Genero inga

El género Inga uno de los grupos más complejos y diversos de la flora neotropical con cerca de 300 especies y un importante centro de especiación en la Amazonía esta presente dentro del bosque y es una de las especies con mayor presencia a lo largo de la zona boscosa y zonas húmedas de america latina la mayor diversidad de especies del género está presente en los países Andinos de Colombia, Ecuador y Perú(Antón de los Ángeles, al. 2013.)

- *Inga edulis* (guaba) es un un árbol que llega alcanzar los 30 m de alto con un diámetro de 20 a 60 cm, la guaba controla la fragmentación del suelo gracias a su sistema radicular evitando así la erosión, esta especie tiene tolerancia a suelos ácidos con alta saturación de aluminio, se adapta a condiciones de precipitación de 1000 mm a mas de 5000 mm es usada en sistemas agroforestales como especie sombreadora de cultivos como café y cacao (Isminio Ramírez, 2006).
- *Inga brachyptera* árbol de copa frondosa que llega alcanzar los 20 m de alto, se desarrolla a una temperatura de 20 ^{0}C.
- *Inga edulis* es utilizada para sombra en cultivos de café y cacao. *Inga feuillei* (pacay) es un árbol que puede alcanzar 10 m de alto originaria de zonas tropicales y zonas templarías de américa latina las tres especies de el genero Inga tienes frutos comestibles de vainas alargadas de color verde.(Flores & Elvira, al.2021)