



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERIA EN BIOTECNOLOGIA

**CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES RUDERALES HIPERACUMULADORAS DE CD Y PB
PRESENTES EN EL SUELO ADYACENTE AL CAMPUS MARÍA AUXILIADORA DE LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA GUAYAQUIL, ECUADOR.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

AUTORES

GIANNA FIORELLA MAWYIN MORA

TANNIA NICOLE REYES VILCHES

TUTOR

MSc. JAIME ALBERTO NARANJO MORAN

Guayaquil-Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Gianna Fiorella Mawyin Mora con documento de identificación N° 0929692077 y Tannia Nicole Reyes Vilches con documento de identificación N° 0953851268; manifestamos que: Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 07 de septiembre de 2023.

Atentamente,

Fiorella Mawyin M.

Gianna Fiorella Mawyin Mora

0929692077

Tannia Reyes V.

Tannia Nicole Reyes Vilches

0953851268

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Gianna Fiorella Mawyin Mora con documento de identificación N° 0929692077 y Tannia Nicole Reyes Vilches con documento de identificación N° 0953851268, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: **CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES RUDERALES HIPERACUMULADORAS DE CD Y PB PRESENTES EN EL SUELO ADYACENTE AL CAMPUS MARÍA AUXILIADORA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA GUAYAQUIL, ECUADOR**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de septiembre de 2023.

Atentamente,

Fiorella Mawyin M.

Gianna Fiorella Mawyin Mora

0929692077

Tannia Reyes V.

Tannia Nicole Reyes Vilches

0953851268

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jaime Alberto Naranjo Moran, con documento de identificación N° 0927155226 , docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES RUDERALES HIPERACUMULADORAS DE CD Y PB PRESENTES EN EL SUELO ADYACENTE AL CAMPUS MARÍA AUXILIADORA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA GUAYAQUIL, ECUADOR**, realizado por Gianna Fiorella Mawyin Mora con documento de identificación N° 0929692077 y Tannia Nicole Reyes Vilches, con documento de identificación N° 0953851268, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de septiembre de 2023.

Atentamente,



Jaime Alberto Naranjo Moran

0927155226

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres, Xavier y Denisse por ser los pilares fundamentales en mi desempeño académico y personal, gracias a su amor, sacrificio y dedicación hoy estoy culminando esta etapa. A mi abuela Mari, por su apoyo incondicional, gracias por motivarme día a día. A mi tía Emilia, mi segunda mamá, gracias por tanto amor. A mis hermanas Daniela e Isabella, por ayudarme en este proceso y estar en cada momento de mi vida. A mi esposo Stalyn, mi confidente y compañero de vida, gracias por toda la paciencia, comprensión y aliento constante, mis logros son tuyos. A mi bebé Gianna, espero que algún día leas esto y estes orgullosa de mamá, eres mi mayor inspiración. A mis amigas, su cercanía llena mi vida de momentos inolvidables. Finalmente, en memoria de quienes ya no están conmigo, mis abuelos y mi tío, su amor y enseñanzas siguen iluminando mi camino.

Con cariño y gratitud eterna,
Fiorella Mawyin

Dedico este trabajo de manera especial a mis padres Marcos y Tannia, hermanos María y Marquitos y novio Sebastián que son mi gran familia, quienes con su amor, paciencia y confianza me dieron su apoyo incondicional a lo largo de este arduo viaje académico. Sin su respaldo este logro no habría sido alcanzado.

A mis queridos amigos, su amistad esta siempre presente en mi corazón, sus palabras de aliento, risas compartidas y respaldo en los momentos de dificultad. Sigamos construyendo juntos nuestras metas y sueños.

A la memoria imborrable de mi querido abuelo Federico quien a lo largo de su vida siempre estuvo para mí, su amor y sabios consejos siguen iluminando mi camino, siempre será recordado con amor y gratitud.

Con amor y agradecimiento,
Tannia Reyes

AGRADECIMIENTO

Llenas de regocijo, ilusión y afecto, agradecemos en primer lugar a Dios por permitirnos culminar con éxito el presente periodo de titulación.

A nuestros seres queridos por su apoyo incondicional, su motivación para salir adelante día a día, por todo su amor, paciencia y sacrificio, dado que fueron los primeros en depositar su total confianza en nosotras.

A nuestros amigos dentro y fuera de la universidad, con quienes compartimos gratos momentos que perdurarán toda la vida.

Al docente tutor MSc. Jaime Naranjo, quien es testigo principal del arduo trabajo depositado en el desarrollo de este proyecto, un especial y sincero agradecimiento por ser nuestro mentor. Es importante destacar, que cada conversación, asesoría y corrección han sido un regalo invaluable que ha impactado de manera positiva nuestra formación académica y personal. Sin su compromiso y dedicación, este logro no habría sido posible.

A cada docente que hizo parte de este proceso integral de formación, tanto aquellos que impartían las distintas asignaturas, como a quienes que se dieron un tiempo adicional para guiarnos en el desarrollo experimental de la tesis.

Por último, pero no menos importante, con profundo sentimiento de gratitud, expresamos nuestro reconocimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, por permitirnos participar en este proyecto de investigación y aportar datos científicos que puedan beneficiar a futuras generaciones.

Resumen

Esta tesis se centra en el estudio y caracterización de las distintas especies ruderales hiperacumuladoras de metales pesados y la composición del suelo adyacente al campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil, Ecuador. El área de estudio con una extensión de 500 x 15 m, se dividió en ocho transectos, utilizando un diámetro de 2 x 5 m; de ahí se colectaron las especies ruderales con características distintas entre sí, y para la toma de muestras de suelo, se establecieron subunidades de muestreo de $1m^2 \times 1m^2$. Se herborizaron un total de 56 especies ruderales, partiendo de esta información, se escogieron las tres especies más representativas: *Distimake aegyptius*, *Bidens bipinnata* y *Chenchrus echinatus*, de las cuales también se tomó muestras de hoja, raíz y suelo, para establecer valores de factor de translocación y bioconcentración. Se calculo porcentaje de germinación y tasa de mortalidad, se recolectaron 100 semillas de cada especie, y se sembraron en tres semilleros de espumaflex, 220 cavidades, 57 mm (largo) x 668 mm (largo) x 342 mm (ancho). Se usó la espectroscopía de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) para determinar la concentración de Cd y Pb en las diferentes partes de las plantas y en el suelo circundante. Los resultados preliminares muestran que el suelo adyacente a la Universidad Politécnica Salesiana se ve afectado por metales pesados, a causa de una empresa fabricante de sacos y lonas de polipropileno, de los puntos de muestreo del suelo adyacente del campus María Auxiliadora; la concentración de Cd más alta fue en el punto ocho con una concentración de 2,57 ppm para Cd, mientras que el más bajo fue en el punto número tres, con una concentración de 1,07 ppm para Cd. Los factores de translocación y bioconcentración *Chenchrus echinatus*, se considera una planta acumuladora de metales pesados y *Distimake aegyptius* posee mayor capacidad de acumular y transportar el metal desde el suelo, y podría usarse para estrategias de fitoextracción. Las demás especies, podrían ser empleadas para fines de fitoestabilización.

Palabras clave

Metales pesados, especies ruderales, plantas hiperacumuladoras, bioacumulación, translocación

Abstract

This thesis focuses on the study and characterization of the different ruderal species that hyperaccumulate heavy metals and the composition of the soil adjacent to the María Auxiliadora campus of the Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil, Ecuador. The study area with an extension of 500 x 15 m, was divided into eight transects, using a diameter of 2 x 5 m; from there, ruderal species with different characteristics were collected, and for soil sampling, sampling subunits of 1m ² x 1m ² were established. A total of 56 ruderal species were herborized, based on this information, the three most representative species were chosen: *Distimake aegyptius*, *Bidens bipinnata* and *Chenchrus echinatus*, from which leaf, root and soil samples were also taken, to establish values of translocation factor and bioconcentration. Germination percentage and mortality rate were calculated, 100 seeds of each species were collected and sown in three foam flex seedbeds, 220 cavities, 57 mm (length) x 668 mm (length) x 342 mm (width). Inductively coupled plasma spectroscopy (ICP-OES) was used to determine the concentration of Cd and Pb in the different parts of the plants and in the surrounding soil. Preliminary results show that the soil adjacent to the Salesian Polytechnic University is affected by heavy metals, because of a company that manufactures polypropylene sacks and tarps, from the sampling points of the soil adjacent to the Maria Auxiliadora campus; the highest Cd concentration was at point eight with a concentration of 2.57 ppm for Cd, while the lowest was at point number three, with a concentration of 1.07 ppm for Cd. The translocation and bioconcentration factors *Chenchrus echinatus* are considered a heavy metal accumulator plant and *Distimake aegyptius* has a greater capacity to accumulate and transport the metal from the soil, and could be used for phytoextraction strategies. The other species could be used for phytostabilization purposes.

Key words

Heavy metals, ruderal species, hyper-accumulating plants, bioaccumulation, translocation

Índice de contenidos

Capítulo 1	13
Introducción	13
1.1 Antecedentes de la investigación.....	13
1.2 Justificación	14
1.3 Delimitación de la investigación	15
1.4 Objetivo general	16
1.5 Objetivos específicos.....	16
1.6 Pregunta de investigación.....	16
1.7 Hipótesis	16
Capítulo 2	17
Marco teórico	17
2.1 Bosque seco tropical.....	17
2.2 Especies vegetales ruderales.....	17
2.3 Especies hiperacumuladoras de metales pesados	18
2.4 Metales pesados	19
2.4.1 Plomo (Pb).....	20
2.4.2 Cadmio (Cd).....	20
2.5 Factor de bioconcentración (FB)	21
2.5.1 Fórmula empleada para calcular factor de bioconcentración	21
2.6 Factor de translocación (TF).....	22
2.6.1 Fórmula empleada para calcular factor de translocación	22
2.7 Horno microondas.	23
2.8 Espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente ICP-OES.	24
Capítulo 3	25
Materiales y métodos	25
3.1 Área de estudio	25
3.1.1 Características climáticas del área de estudio	25

3.1.2	Tipo y diseño de investigación.....	25
3.2	Protocolo de recolección de especies vegetales para herborización.....	26
3.3	Colecta y herborización de las especies vegetales.....	26
3.4	Colecta de especies vegetales.....	28
3.5	Recolección específica de plantas hiperacumuladoras.....	30
3.6	Germinación de especies silvestres.....	31
3.7	Cuantificación de metales pesados por ICP-OES.....	32
3.7.1	Muestras de plantas.....	32
3.8	Muestras de suelo.....	33
Capítulo 4	.....	35
Resultados y discusión	.....	35
4.1	Identificación de las especies vegetales ruderales presentes en la zona de estudio.....	35
4.2	Porcentaje de germinación.....	38
4.2.1	<i>Distimake aegyptius</i>	38
4.2.2	<i>Chenchrus echinatus</i>	40
4.2.3	<i>Bidens bipinnata</i>	42
4.3	Cuantificación de Cd y Pb por espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente ICP-OES.....	45
4.4	Registro datos de concentración Cd y Pb para muestras de suelo.....	46
4.5	Registro datos de concentración de Cd y Pb en raíz, hoja y suelo para <i>Distimake aegyptius</i> , <i>Chenchrus echinatus</i> y <i>Bidens bipinnata</i>	47
4.6	Cálculo del factor de translocación y factor de bioconcentración de Cd y Pb para <i>Distimake aegyptius</i> , <i>Chenchrus echinatus</i> y <i>Bidens bipinnata</i>	49
Capítulo 5	.....	52
Conclusiones y recomendaciones	.....	52
5.1	Conclusiones.....	52
5.2	Recomendaciones.....	53
Bibliografía	.....	54

Anexos	61
--------------	----

Índice de figuras

Figura 1. Delimitación geográfica que comprende 500 metros del suelo adyacente al campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana km. 19,5 Vía La Costa, Guayaquil, Ecuador	12
Figura 2. Horno microondas.....	23
Figura 3. Ilustración de la emisión atómica..	25
Figura 4. Diseño de la unidad de muestreo.	27
Figura 5. Semillero para el proceso de germinación.....	32
Figura 6. Representación gráfica de las especies vegetales ruderales según la familia en los puntos de muestreo (5, 6, 7 y 8) respectivamente.....	37
Figura 7. Representación gráfica de las especies vegetales ruderales según la familia en los puntos de muestreo (1, 2, 3 y 4) respectivamente.....	37
Figura 8. Visualización de la semilla <i>Distimake aegyptius</i> en estereomicroscopio trinocular "Acuarius".....	39
Figura 9. Visualización de la semilla <i>Chenchrus echinatus</i> en estereomicroscopio trinocular "Acuarius".....	41
Figura 10. Visualización de la semilla <i>Bidens bipinnata</i> en estereomicroscopio trinocular "Acuarius"	43

Índice de tablas

Tabla 1. Identificación de especies vegetales hiperacumuladoras de metales pesados	19
Tabla 2. Descripción de las unidades de muestro de especies a estudiar	27
Tabla 3. Propiedades método de digestión de plantas en MARS 6.....	33
Tabla 4. Propiedades método de digestión de suelo en MARS 6.	34
Tabla 5. Registro de las especies vegetales ruderales recolectadas de los ocho transectos. Se describe el nombre común, nombre científico y familia de cada ejemplar	35
Tabla 6. Datos numéricos correspondientes a tamaño y peso de la semilla perteneciente a <i>Distimake aegyptius</i>	38
Tabla 7. Registro de datos numéricos correspondientes a tamaño y peso de la semilla perteneciente a <i>Chenchrus echinatus</i>	40
Tabla 8. Registro de datos numéricos correspondientes a tamaño y peso de la semilla perteneciente a <i>Bidens bipinnata</i>	42
Tabla 9. Monitoreo de Cd y Pb en suelo adyacente del campus María Auxiliadora de la UPS. ...	46
Tabla 10. Acumulación de Cd y Pb en plantas acumuladoras adyacentes al campus María Auxiliadora de la UPS.....	47
Tabla 11. Análisis de la translocación y bioconcentración en tres especies hiperacumuladoras ...	50

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes de la investigación

La idea nace a partir del proyecto “Caracterización de la biodiversidad y etnobotánica de las especies vegetales ubicadas en el campus María Auxiliadora”, cuyo objetivo consiste caracterizar y conservar las especies vegetales, con fines de desarrollar trabajos de investigación pertinentes, en un ecosistema frágil como lo es el bosque seco tropical de la región de endemismo tumbesino (Aguirre, 2006.). En Ecuador, los bosques secos tumbesinos en un inicio abarcaban el 35% de la costa, pero en la actualidad, la mayor parte de ellos ha desaparecido o se encuentra en un estado de degradación significativo. En el país se han identificado y descrito siete tipos de formaciones de bosques secos, dentro de los cuales se han registrado 275 especies de árboles y arbustos (Morales & Sánchez, 2006). La vegetación ruderal presente en la región se caracteriza por un conjunto de especies herbáceas que surgen en suelos alterados por actividades humanas, como movimientos de tierra, incendios forestales, o tierras modificadas para cultivo (Villaseñor & Espinosa García, 2004). En el presente proyecto se tiene como fin coleccionar y herborizar dichas especies ruderales, además de evaluar si estas plantas son hiperacumuladoras de metales pesados para determinar el nivel de contaminación del suelo adyacente a la ruta vía la costa de la ciudad de Guayaquil, el aporte científico que busca generar nuevos bioindicadores y alternativas biotecnológicas para mitigar la contaminación antropogénica, haciendo uso oportuno de nuestras plantas.

1.2 Justificación

Es de suma importancia adquirir conocimiento exhaustivo sobre la diversidad de especies vegetales que habitan en la región de estudio. Puesto que, estas plantas crecen en un entorno rural, su desarrollo tiene efectos negativos desde el punto de vista ecológico. Entre los efectos más notables se destacan, la fragmentación de los ecosistemas, introducción de especies exóticas y disminución de poblaciones de especies autóctonas de flora y fauna. Es importante resaltar también, los cambios a nivel climático, tales como, alteración en el ciclo hidrológico, la introducción de especies exóticas, disminución de poblaciones de especies autóctonas de flora y fauna. Además de la contaminación producida en suelo y agua por la expansión industrial de la ciudad de Guayaquil.

Para implementar la caracterización de la diversidad de especies vegetales ruderales, es necesario recolectar y preservar las mismas en un herbario. Estas instituciones tienen un rol fundamental para la taxonomía vegetal, dado que proporcionan la información requerida para establecer la identidad de una especie de interés. Los herbarios funcionan como un registro permanente de la biodiversidad vegetal, pues ofrecen herramientas que permiten determinar la distribución de plantas y su hábitat. Es de suma importancia destacar, que los herbarios son primordiales para diversas áreas de investigación como morfología, ecología, etnobotánica, biogeografía, medicina, criminología, paleobotánica, educación y conservación de recursos naturales.

La presente investigación fortalecerá el campo de conocimiento en ciencias biológicas, que abarca disciplinas correspondientes a la biotecnología, incluyendo asignaturas como botánica,

ecología, fitopatología, y biotecnología vegetal. La identificación de especies hiperacumuladoras brinda información valiosa como indicadores biológicos del impacto antropogénico sobre la contaminación presente en el bosque seco tropical que rodea la carretera “Vía La Costa”, en el kilómetro 19.5 de la ciudad de Guayaquil una de más pobladas del Ecuador.

1.3 Delimitación de la investigación

El presente estudio tendrá una delimitación en un área específica que se extiende a lo largo de 500 metros de la carretera vía La Costa en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Teniendo el enfoque principal en el suelo adyacente al campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana. Las muestras se recolectarán tanto del suelo como de las especies vegetales ruderales presentes en la zona. La franja de 500 metros será seleccionada como sitio de muestreo (figura 1) con el propósito de implementar una caracterización detallada de las especies vegetales ruderales que presentan la capacidad de hiperacumulación de metales pesados. El estudio realizó un especial énfasis en dos metales pesados como los son el Cadmio (Cd) y el Plomo (Pb).



Figura 1. Delimitación geográfica que comprende 500 metros del suelo adyacente al campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana km. 19,5 Vía La Costa, Guayaquil, Ecuador. Fuente: Google Earth, agosto del 2023.

Esta investigación tiene el propósito de brindar datos sobre la distribución y concentración de metales pesados (Cd y Pb) en el entorno urbano donde se desarrolla el presente estudio, con la finalidad de implementar a futuro, las gestiones ambientales adecuadas. Y recomendaciones posteriores al estudio para vivir en un entorno más saludable.

1.4 Objetivo general

Caracterizar las especies ruderales hiperacumuladoras de metales pesados (Cd y Pb) presentes en suelo adyacente al campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana, mediante la técnica de Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma Acoplado Inductivamente.

1.5 Objetivos específicos

- Establecer una guía metodológica sobre métodos para caracterizar la diversidad de las especies vegetales hiperacumuladoras en una zona ruderal en el km 19,5 Vía La Costa en la ciudad de Guayaquil.
- Determinar el porcentaje de acumulación de metales pesados (Cd y Pb) en tres especies vegetales representativas.

1.6 Pregunta de investigación

¿Cuántas plantas hiperacumuladoras existen en el suelo adyacente al campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil, Ecuador?

1.7 Hipótesis

Las plantas hiperacumuladoras de metales pesados tienen la capacidad de absorber grandes cantidades de estos elementos en sus tejidos, lo que les confiere una capacidad única para remediar suelos contaminados.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Bosque seco tropical

Los bosques secos tropicales, en el Ecuador están delimitados a lo largo de la costa, abarcando desde el norte al sur de la provincia de Loja, hacia los valles secos interandinos (Aguirre, Linares-Palomino, & Kvist, 2006). Al sur occidente de Ecuador, se localiza la mayoría de bosques secos del país, que no fueron afectados por procesos de deforestación, por lo que se encuentran en estado de conservación (Espinosa, Cabrera, Luzuriaga, & Escudero, 2011). Esta área posee un alto índice de endemismo para especies de flora (Aguirre et al., 2006). Sin embargo, los bosques secos tumbesinos han enfrentado daños significativos, ocasionados por la actividad humana, estos ecosistemas han estado sufriendo transformaciones, que los han convertido en pastizales y terrenos dedicados a la agricultura. Debido a esto, en la actualidad, se han implementado trabajos de investigación en la región tumbesina para conocer el funcionamiento y estructura de los bosques secos. La zona posee una vegetación que comprende plantas vasculares endémicas, con árboles y arbustos dispersos en todo el lugar, algunos de ellos, llegan a perder sus hojas, quedando únicamente los frutos (Aguirre & Kvist, 2005).

2.2 Especies vegetales ruderales

Las especies sinantrópicas o malezas son plantas silvestres que crecen en hábitats modificados por el ser humano. Las malezas se pueden clasificar en dos grupos, las *arvenses*, cuyo desarrollo está relacionado a los campos de laboreo y a la remoción del suelo. Por otro lado, se encuentran las *ruderales*, que se expanden en ambientes transformados, a causa de los

asentamientos humanos. Los principales lugares donde crecen las malezas comprenden huertos, jardines, lotes baldíos, escombros, grietas de los muros, orillas de las infraestructuras de comunicación como autopistas y rutas ferroviarias (Calderón de Rzedowski 2004; Rzedowski, 2006; y Villaseñor., 2013). Las especies ruderales, que se encuentran en zonas urbanas, son menos conocidas que las especies arvenses, a pesar de que, la mayor parte de la población interactúa con las especies ruderales, algunas incluso son aptas para el consumo humano (Villaseñor y Espinosa García, 2004). En particular, no se las está aprovechando tales especies y en caso de aprovecharlas como alimento se desconoce si contienen metales pesados.

2.3 Especies hiperacumuladoras de metales pesados

Todas las especies vegetales tienen la posibilidad de absorber metales pesados del suelo, en distinto grado, la capacidad de absorción dependerá de la composición del suelo y de la especie vegetal. Las plantas pueden desarrollar diferentes mecanismos ante la presencia de metales pesados. Algunas (especialmente aquellas que pertenecen a suelos contaminados o metalíferos) acumulan el metal en la parte aérea, sin generar toxicidad para la planta. Por otro lado, otras especies tolerantes a los metales, generan una *exclusión del metal* eficiente, impidiendo su transferencia a la parte aérea de la planta (Baker, 1981; Barceló et al., 2003). En relación con la *estrategia de acumulación de Baker (19881)*, se detalla que las plantas hiperacumuladoras pueden exceder mas de 100 veces los niveles normales de acumulación de metales. La hiperacumulación actualmente, se ha incrementado en más de 400 especies de plantas, que se encuentran distribuidas en 45 familias botánicas diferentes (Baker et al., 2000). En la tabla 1 se visualizan las principales especies hiperacumuladoras de metales pesados.

Tabla 1. *Identificación de especies vegetales hiperacumuladoras de metales pesados*

Especie	Familia	N. Común	Metal que acumula	Hiperacumuladora	Acumuladora
<i>Amaranthus blitum</i> L.	Amaranthaceae	Bledo	Cd	0	x
<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	Romerillo	Cd	x	x
<i>Heliotropium indicum</i> L.	Boraginaceae	Alacrancillo	Fe	0	x
<i>Lepidium virginicum</i> L.	Brassicaceae	Mastuerzo	Pt	0	x
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	Higuereta	Cd, As	0	x
<i>Euphorbia ophthalmica</i> Pers.	Euphorbiaceae	Golondrina	Pb, Zn	0	x
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae	Hierba lechosa	Pb, Zn	0	x
<i>Mirabilis jalapa</i> L.	Nyctaginaceae	Maravilla	Cd	0	x
<i>Sorghum halepense</i> Pers.	Poaceae	Don Carlos	Pb, Zn, Cu	0	x
<i>Pteris vittata</i> L.	Pteridaceae	Helecho macho	Sb	x	0
<i>Solanum americanum</i> Mill.	Solanaceae	Yerba Mora	Cd	x	0
<i>Typha domingensis</i> (Pers.) Kunth.	Typhaceae	Macío	Cd, Pb	0	x

Fuente: Guzmán Morales et al., 2021.

2.4 Metales pesados

Los metales pesados son emanados por distintas fuentes, son extraídos de minas, en la actualidad son usados para elaborar todo tipo de productos. Son tóxicos y muy peligrosos para el ambiente. Entre sus principales características se encuentra: bioacumulación, biotransformación, elevada toxicidad, difícil degradación natural, por lo tanto, permanecen en el ecosistema por largos periodos. Dentro de las ocupaciones en las que se encuentran los metales pesados, se destacan la galvanización, extracción de minerales, fontanería, pintura y fabricación de baterías (Camacho, A., y Ariosa, L. 1998).

2.4.1 Plomo (Pb)

El Pb es un metal estable, gris azulado, blando y tiene alta resistencia a la corrosión. Si el Pb está presente en las tuberías, puede llegar a contaminar el agua potable (Agency of Toxic Substances and Disease Registry, 2007). El Pb tiene una temperatura de fusión baja y no conduce bien la electricidad. Este metal proporciona cierta protección ante la radiación, por este motivo se lo usa en mandiles de trabajadores de salud (Budd, P. Montgomery, J., Cox, A., Krause, P. & Thomas RG., 1998).

El Pb es un metal que existe de forma orgánica e inorgánica. La forma inorgánica se localiza tanto en pinturas, suelo, polvo y otros productos manufacturados. Por otro lado, la forma orgánica, se la puede encontrar en los gases de la combustión de la gasolina, a los que se les ha añadido Pb, por lo tanto, de esta manera, resulta tener mayores niveles de toxicidad que la inorgánica, puesto que el cuerpo absorbe esta con mayor facilidad (Loma, P. 1998).

2.4.2 Cadmio (Cd)

El Cd es un metal pesado con altos niveles de toxicidad, presente en la tierra, aire, sedimentos y agua. (Weisberg *et al.*, 2003). Naturalmente se localiza en quemas forestales, esto genera el transporte de partículas del suelo, generado por factores como el viento y erupciones volcánicas. La actividad humana, al día de hoy, ha tenido un incremento significativo, en distintas actividades industriales como, fundición de metales, quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes fosfatados, minería, producción de pigmentos y plásticos (Palus *et al.*, 2003; Weisberg *et al.*, 2003). El Cd es reconocido como uno de los metales pesados que tiende a acumularse con mayor tendencia en plantas. Su efecto adverso principal consiste en causar

alteraciones en los procesos de nutrición y transporte de agua para las especies vegetales (Singh & Tewari, 2003).

Existen algunos factores que proporcionan la información necesaria, para establecer la capacidad que poseen las especies vegetales tanto para absorber como para translocar metales del suelo a la parte aérea (Lokeshwari et al., 2006).

2.5 Factor de bioconcentración (FB)

Conocido también como índice de bioconcentración (BF), coeficiente de transferencia (TC), factor de concentración (CF), coeficiente de adsorción biológica (BAC), o coeficiente de bioacumulación (BAC). El FB, es usado para determinar la capacidad que poseen los metales pesados de ser acumulado en una planta, tanto en la raíz, como en la parte aérea, en relación a la concentración del suelo. Cuando el valor es > 1 señala el potencial de hiperacumulación de la especie vegetal (mayor capacidad de hiperacumulación) (Audet et al., 2007). A pesar de ello, las especies con valores < 1 , son consideradas excluidoras de metales (menor capacidad de exclusión) (Zayed et al., 1998).

2.5.1 Fórmula empleada para calcular factor de bioconcentración

$$\text{Factor de bioconcentración (FB)} = \frac{C_{\text{aereo o raiz}}}{C_{\text{suelo}}}$$

Donde:

FB = Factor de bioconcentración

$C_{\text{aereo o raiz}}$ = Concentración del metal sólo en la parte aérea o raíz de la planta en mg/Kg en ppm.

C_{suelo} = Concentración del metal en el suelo en ppm.

2.6 Factor de translocación (TF)

El factor de translocación es el cociente entre la concentración del metal en órganos aéreos y la raíz (Mattina, 2003; Olivares et al., 2009). Cuando el valor del factor de translocación es > 1 , significa una eficiente translocación del metal a los brotes, esto quiere decir que la planta puede implementarse para procesos de fitoextracción. Por otro lado, si el valor es < 1 , existe un bajo nivel de translocación del metal, en este caso el metal estaría retenido en las raíces, y podría usarse en procesos de fitoestabilización (Deng, 2004., Audet & Charest, 2007).

2.6.1 Fórmula empleada para calcular factor de translocación

$$\text{Factor de translocación (FT)} = \frac{C_{aerea}}{C_{raiz}}$$

Donde:

FT = Factor de translocación

C_{raiz} = Concentración del metal sólo en la raíz de la planta en ppm.

$C_{aérea}$ = Concentración del metal sólo en la parte aérea de la planta en ppm.

2.7 Horno microondas.



Figura 2. Horno microondas MARS 6. Fuente: CEM Corporation

El horno microondas MARS 6 se observa en la figura 2, en su estructura contiene un dispositivo rotatorio que abarca múltiples bombas de digestión y un sistema de ventilación controlada. El sistema del microondas registra la temperatura y presión del recipiente. Los recipientes de muestra (tubos de digestión) tienen una presión alta y son fabricados de un polímero que sea capaz de soportar altas temperaturas (policarbonato o PTFE). Para el análisis de metales pesados, los sistemas de digestión de ácidos, se fabrican con un revestimiento hecho con materiales de alta resistencia, para garantizar la integridad en el ataque químico, es decir bajo condiciones altamente corrosivas, como niveles altos de acidez y temperatura dentro de la bomba de digestión. Cada bomba tiene una válvula de alivio que conduce al colector. Este sistema permite elevar la temperatura de las muestras bajo presión, ofreciendo así, una digestión más rápida en comparación con un enfoque del funcionamiento de un recipiente abierto (Ahuja & Jespersen, 2006).

2.8 Espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente ICP-OES.

La espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), es una técnica que permite la cuantificación de distintos elementos, en una variedad de matrices. El procedimiento implica la inyección de muestras líquidas dentro de un plasma de argón, generado mediante radiofrecuencia (RF), usando uno de los varios nebulizadores disponibles. Una vez que la muestra ha sido nebulizada, va a ingresar al plasma, para convertirse en vapor y se energiza por medio de la excitación colisionando a altas temperaturas. La emisión atómica generada en el plasma puede ser visualizada en una configuración axial o radial. Después, se recoge usando un lente espejo y se observa en la rendija de entrada de un dispositivo de selección de longitudes de onda (Hou et al., 2004), tal como se muestra en la figura 3.

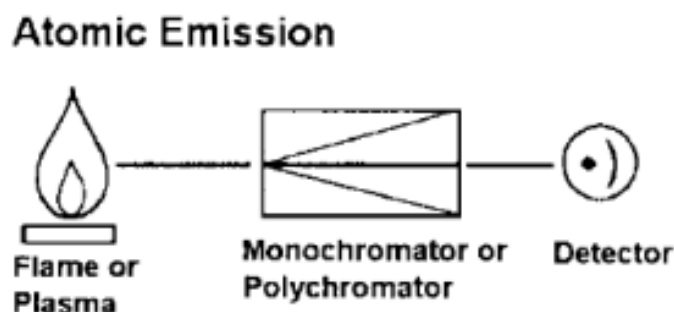


Figura 3. Ilustración de la emisión atómica. Fuente: Concepts, instrumentation, and techniques in inductively Coupled plasma optical Emission Spectrometry.

Capítulo 3

Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

Esta investigación se realizó en la provincia del Guayas, campus María Auxiliadora Vía a La Costa en el km 19,5 coordenada 2°11'33.4"S 80°02'43.7"W en el suelo adyacente con una delimitación que comprende 500 metros. El área de estudio se visualiza en el anexo 8.

3.1.1 Características climáticas del área de estudio

La Vía a La Costa es una ruta que conecta Guayaquil con la región costera del país, en cuanto a condiciones climáticas se caracteriza por un clima tropical con una temperatura cálida que suelen oscilar entre 25 y 32°C, su humedad relativa varía entre 39 y el 90 %, debido a su proximidad con el océano, la existencia de selvas y humedales cercanos. Vía a la Costa presenta una estación tanto húmeda como seca, la temporada de lluvia va desde diciembre hasta mayo, mientras que la temporada seca va de junio hasta noviembre. Durante la estación húmeda las lluvias suelen ser intensas y constantes. La región adquiere una cantidad relevante de precipitación anual de 2321 mm, aportando al verdor y a la abundante vegetación (Tiempo En Guayaquil - Meteored, 2023).

3.1.2 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación planteada en para la experimentación fue de tipo descriptiva correlacional en el cual se desarrolló colectas y descripción botánica de las especies vegetales. Se realizó colectas de suelo para monitorear el estado inicial de la contaminación de Cd y Pb, desarrollar la curva de calibración de los metales pesados para el equipo ICP-OES. El diseño de investigación en el proceso experimental se realizó mediante una revisión sistemática de documentos de tesis, libros,

artículos originales y repositorios digitales oficiales como plantas neotropicales (<https://plantidtools.fieldmuseum.org/es/rrc/5581>), tópicos (<https://www.tropicos.org/>), bioweb (<https://bioweb.bio/>) entre otros. En la práctica experimental no se manipularon las variables en el presente estudio. La revisión sistemática de información permitió tomar decisiones para la selección de tres especies con potencial de hiperacumulación de Cd y Pb.

3.2 Protocolo de recolección de especies vegetales para herborización

Materiales y equipos de campo

Se utilizó alcohol al 70%, Baliza de madera de 50x2 cm, Cinta masking tape, Cinta métrica marca Stanley, Pala puntona Truper Clasic, Bolsas Ziploc de 27x28 cm y Tijeras de podar marca Truper. Materiales utilizados en todas las salidas de campo.

Materiales y equipos de laboratorio

Se utilizó bibliografía especializada, etiquetas de identificación, cartulina satinada, cinta masking tape, goma, marcadores permanentes marca comercial Pelikan, estufa marca Memmert, autoclave, estereoscopio trinocular Acuaris y bisturí marca Sterile R.

Materiales y equipo de escritorio

Se utilizó papel A4, lapiceros BIC, tijeras Pelikan, Computadora marca Dell, Impresora marca HP.

3.3 Colecta y herborización de las especies vegetales

Para evaluar la vegetación ruderal se establecieron ocho transectos. El procedimiento aplicado fue:

Trayecto inicial de la zona de investigación

Determinación, numeración y ubicación geográfica de las UMP (Unidades de Muestreos Permanentes), en campo y plano. Las UMP fueron de 500 x 15m, donde evaluamos las especies ruderales. La UMP se dividió en ocho subunidades de muestreo en un diámetro de 10 m, en él se recolecto las diferentes especies ruderales en un radio de 5 m. De cada subunidad central se colocaron cuadros (C) con la dimensión de $1m^2 \times 1m^2$ donde se analizó para cada muestra tres submuestras de manera aleatoria, como se describe en la figura 4 y tabla 2. Ver mas detalles en el anexo 7.

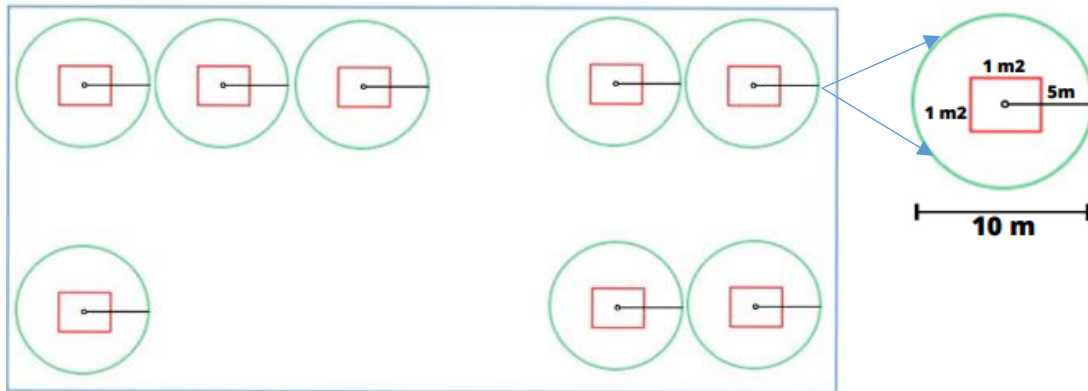




Figura 4. Diseño de la unidad de muestreo. Fuente: Mawyin & Reyes, 2023

Tabla 2. Descripción de las unidades de muestro de especies a estudiar

Color	Nombre	Dimensiones	Descripción
	Unidades de muestreo (UM)	500 x 15 m	Las características principales están delimitadas por un constante flujo de personas, áreas recreativas.

			En la autopista Vía a La costa diariamente se observa un volumen entre 5.000 y 6.000 vehículos con un límite de velocidad de circulación de 90 km/h para vehículos livianos y 70 km/h para vehículos pesados.
	Sub Unidades (Sub UM)	Diámetro 10 m con un radio de 5 m	Alrededor de este transecto se colectaron todas las especies ruderales caracterizadas de tipo: rastreras, trepadoras, herbáceas, bejucos, leñosas, etc.
	Cuadros (C)	$1m^2 \times 1m^2$	Se recolecto una muestra compuesta de tres submuestras de manera aleatoria del centro y borde del diámetro.

Fuente: Mawyin & Reyes, 2023

3.4 Colecta de especies vegetales

Colecta

Con el fin de llevar a cabo una debida colecta de las especies ruderales debemos llevar libreta de campo, funda ziploc, tijeras de podar y lápiz. Según las particularidades de las especies, (leñosas o herbáceas). Se toma la muestra de las plantas con las características que se requiere, recolectando ejemplares representativos (Quesada et al., 1999).

Prensado y secado

Con el fin de impedir la propagación de hongos en las hojas se las rocía con alcohol al 70 % luego se coloca la muestra recolectada, entre el papel satinado. Asegurándose que las hojas de la planta estén acomodadas para así proceder a plancharlas y de este modo poder secarlas y prepararlas para el montaje.

Montaje

Cuando la planta se deshidrata llega a un peso constante se coloca sobre una cartulina blanca satinada, se pega con goma u otro pegamento como el silicón y cinta masking tape para ajustarlo mejor. Sin que se fragmente la muestra, porque en este momento es muy quebradiza, otra forma de sujetar es con puntadas de hilo blanco (López, R. G. y U. Rosas L. 2002).

Las plantas poseen dos denominaciones, un nombre común y un nombre científico. El nombre común es el de uso público, una planta puede poseer más de un nombre común en diversas sociedades. El nombre científico es el que le asigna un taxónomo, por lo general un biólogo especialista en la clasificación de las plantas es el que encasilla la especie especificando la familia, género y especie. El nombre científico identifica a la planta y con este es reconocida a nivel mundial (López, R. G. y U. Rosas L. 2002).

Etiquetado

Cuando se reconoce la planta, se debe elaborar una etiqueta de herbario, donde se identifica los datos de cuando se realizó la colecta.

- Familia
- Nombre científico

- Nombre común
- Fecha de colecta
- Sitio de colecta
- Características
- Nombre de quién colecto y número de colecta

La etiqueta se sitúa y pega en la parte inferior esquina derecha (Quesada et al., 1999).

Las especies herborizadas se observan en los anexos 18, 19 y 20.

3.5 Recolección específica de plantas hiperacumuladoras.

En esta revisión se utilizaron cuatro fuentes de datos: Scielo, Elsevier, Google Scholar y Pubmed – NCBI con el fin de hallar artículos acerca de las plantas hiperacumuladoras. Se utilizaron términos claves tales como: Fabaceae, Poaceae, Asteraceae, Convolvulaceae, Onagraceae, Fabaceae, Safindaceae, Malvaceae, Amaranthaceae, Commelinaceae, Cucurbitaceae, Cyperaceae, Rubiaceae, Portulacaceae, Acanthaceae, Apocynaceae, Bignoniaceae, Solanaceae, Euphorbiaceae, Rutaceae, Polygonaceae, plomo, cadmio, planta, raíz, suelo, contaminación y metales pesados. Fueron evaluados más de 50 artículos sobre las plantas hiperacumuladoras, pero se tomaron en cuenta 25 de ellos que pertenecían al periodo 2000-2023, con el propósito de demostrar cuales tienen potencial de hiperacumulación de metales pesados. Ver más detalles en el anexo 14.

Esta información resulto fundamental para seleccionar las 3 principales familias con potencial hiperacumulador de metales pesados que fueron:

Poaceae, Asteraceae y Convolvulaceae según las revisiones bibliográfica estas familias algunas pueden tener cierta tolerancia y capacidad de acumulación de metales pesados puesto que

tienen características fisiológicas y bioquímicas que les permiten acumular cantidades inusualmente altas de metales pesados y otros elementos en sus tejidos sin mostrar signos evidentes de toxicidad, algunas de las razones claves son: capacidad de absorción, tolerancia a los metales, excreción de metales, adaptación a suelos contaminados, mecanismos de transporte y almacenamiento. Estos mecanismos combinados son lo que otorgan a esta familia esta capacidad hiperacumulador (Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham, S. J., & McGrath, S. P. 2001).

3.6 Germinación de especies silvestres

Para este estudio se recolectaron 100 semillas por cada planta elegida: *Distimake aegyptius*, *Bidens Bipinnata* y *Cenchrus echinatus*, durante su cultivo se utilizó 3 semilleros de espumaflex, 220 cavidades, 57 mm (largo) x 668 mm (largo) x 342 mm (ancho), los cuales fueron llenados con turba (figura 5), y regados todos los días para su imbibición, debido a que las semillas absorben el agua lo que activa los procesos metabólicos internos y ablanda la cubierta protectora de la semilla, tiene un período de desarrollo que oscila entre los 7 días aunque la germinación puede ser influenciada por factores ambientales. Batlla en 2004, indica que las semillas de malezas experimentan variaciones diarias de temperatura, por lo cual la cantidad de plántulas que emergen depende del porcentaje de semillas que son capaces de germinar a la temperatura predominante del suelo. Por consiguiente, se tomó en cuenta que esta dificultad de predicción disminuye si se dispone de observaciones locales y a campo de cómo se desarrollan en un sistema de germinación.

La cantidad de semillas que reacciona a esa temperatura está relacionada con el estado de dormición en que se hallan. La dormición que exhibe una planta invasiva complica la anticipación de su brote en el entorno natural (Benech-Arnold & Sánchez, 1995).

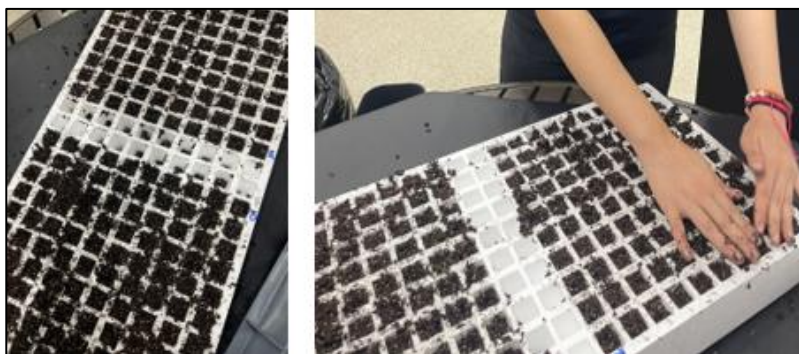


Figura 5. Semillero para el proceso de germinación. Fuente. Mawyin y Reyes, 2023

3.7 Cuantificación de metales pesados por ICP-OES

3.7.1 Muestras de plantas

Las muestras de plantas y raíces, por técnica de cuarteo fueron cortadas en pedazos de 2-3 cm. Después se secaron a una temperatura 110 °C en una estufa Memmert Peltier IPP41ecoplus durante 48 horas. Pasado este tiempo para el proceso de digestión se registró un peso de 0,5 g de muestra en una balanza (BOECO), utilizando una mezcla de 9 ml de HNO₃, se dejaron los tubos destapados en reposo por 30 minutos. Véase anexo 10.

En un sistema de digestión por microondas de recipiente cerrado. Las 9 muestras se calientan y se mantienen a una temperatura de 200 °C durante 90 minutos. Después de la digestión, se procede a filtrar con la ayuda de una bomba al vacío para que luego cada muestra sea transferida a un matraz volumétrico (50 ml) el cual se terminó de llenar con HNO₃ al 2 %. Ver más detalles en el anexo 11 y 12. Antes del análisis en el ICP-OES se preparó una cubra de calibración para Cd y Pb, como se detalla en el anexo 13.

Tabla 3. Propiedades método de digestión de plantas en MARS 6.

Nombre	Plantas
Tipo de muestra	Orgánica
Notas preparativas de muestra	0,5g, 9ml HNO ₃ . Dejar reposar los tubos destapados por 30 minutos.
Potencia	900-1800
Rampa de tiempo	15:00
Tiempo mantenimiento	15:00
Temperatura	200 °C

3.8 Muestras de suelo

Las muestras de suelo las cuales fueron recolectadas por triplicado de los 8 transectos. Después se secaron a una temperatura 110 °C en una estufa Memmert Peltier IPP41ecoplus durante 48 horas. Pasado este tiempo se pesó 30g de cada muestra para su tamizaje y molienda, para el proceso de digestión se pesaron 0,5 g de muestra en una balanza (BOECO), utilizando una mezcla de 9 ml de HNO₃ y 3ml de HCl, se dejó reposar los tubos destapados por 30 minutos. Véase anexo 10.

En un sistema de digestión por microondas de recipiente cerrado. Las 24 muestras se calientan y se mantienen a una temperatura de 200 °C durante 90 minutos. Después de la digestión, se procede a filtrar con la ayuda de una bomba al vacío para que luego cada muestra sea transferida a un matraz volumétrico (50 ml), el cual se terminó de llenar con HNO₃ al 2 %. Ver más detalles en el anexo 11 y 12. Antes del análisis en el ICP-OES se preparó una cubra de calibración para Cd y Pb, como se detalla en el anexo 13.

Tabla 4. Propiedades método de digestión de suelo en MARS 6.

Nombre	Suelo
Tipo de muestra	Orgánica
Notas preparativas de muestra	0,5g, 9ml HNO ₃ y 3ml HCl. Dejar reposar los tubos destapados por 30 minutos.
Potencia	900-1800
Rampa de tiempo	15:00
Tiempo mantenimiento	15:00
Temperatura	200 °C

Todos los procedimientos mencionados estuvieron basados en los protocolos establecidos por: Sample preparation techniques for AAS, ICP-OES and ICP-MS for regulated testing laboratorios de la marca ThermoFisher Scientific del año 2021.

Análisis estadísticos de datos

Los datos tabulados fueron evaluados mediante el software estadístico Infostat para las variables de respuesta de metales pesados, en el cual se usó un análisis de varianza (ANOVA), con una prueba de contraste de Duncan ($p < 0,05$), para el monitoreo y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para identificar los metales en las especies hiperacumuladoras, factores de bioacumulación y translocación. Ver anexos 15, 16 y 17.

Capítulo 4

Resultados y discusión

4.1 Identificación de las especies vegetales ruderales presentes en la zona de estudio

En la presente investigación, se realizó una recolección exhaustiva de especies vegetales ruderales, en los ocho transectos designados. Se logró identificar y herborizar un total de 56 especies (tabla 5). Las especies herborizadas se observan en los anexos 18, 19 y 20.

La representación por grafico de barras de los ocho puntos de muestreo se observa en la figura 6 y 7.

Tabla 5. Registro de las especies vegetales ruderales recolectadas de los ocho transectos. Se describe el nombre común, nombre científico y familia de cada ejemplar

Puntos de muestreo	Nombre científico	Familia
Primer punto	<i>Rhynchosia minima</i>	Fabaceae
	<i>Argentina adenophora</i>	Asteraceae
	<i>Eclipta prostrata</i>	Asteraceae
	<i>Ludwigia peruviana</i>	Onagraceae
	<i>Rhynchosia minima</i>	Fabaceae
	<i>Ptelea trifoliata</i>	Safindaceae
	<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae
	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae
Segundo punto	<i>Echinochloa colona</i>	Poaceae
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Poaceae
	<i>Chloris barbata</i>	Poaceae
	<i>Sorghum halepense</i>	Poaceae
	<i>Merremia umbellata</i>	Convolvulaceae
Tercer punto	<i>Sporobolus pyramidatus</i>	Poaceae
	<i>Melochia lupulina</i>	Malvaceae
	<i>Achyranthes aspera</i>	Amaranthaceae
	<i>Commelina diffusa</i>	Commelinaceae
	<i>Bidens bipinnata</i>	Asteraceae
	<i>Echinochloa colona</i>	Poaceae
	<i>Cucumis dipsaceus</i>	Cucurbitaceae

	<i>Ageratum conyzoides</i>	Asteraceae
	<i>Distimake aegyptius</i>	Convolvulaceae
	<i>Cyperus rotundus</i>	Cyperaceae
	<i>Mitracarpus hirtus</i>	Rubiaceae
	<i>Sida acuta</i>	Malvaceae
Cuarto punto	<i>Tephrosia purpurea</i>	Fabaceae
	<i>Melochia lupulina</i>	Malvaceae
	<i>Albizia multiflora</i>	Fabaceae
	<i>Ipomoea coccinea</i>	Convolvulaceae
	<i>Rhynchosia minima</i>	Fabaceae
Quinto punto	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae
	<i>Convolvulus althaeoides</i>	Convolvulaceae
	<i>Tetramerium nervosum</i>	Acanthaceae
	<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae
	<i>Mimosa quadrivalvis</i>	Fabaceae
	<i>Ruellia blechum</i>	Acanthaceae
	<i>Sorghum halepense</i>	Poaceae
	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Amaranthaceae
	<i>Distimake aegyptius</i>	Convolvulaceae
	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae
	<i>Sida acuta</i>	Malvaceae
Sexto punto	<i>Distimake aegyptius</i>	Convolvulaceae
	<i>Prestonia mollis</i>	Apocynaceae
	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae
	<i>Tecoma castanifolia</i>	Bignoniaceae
	<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae
	<i>Sorghum vulgare</i>	Poaceae
	<i>Senecio viscosus</i>	Solanaceae
Séptimo punto	<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae
	<i>Solanum nigrum</i>	Solanaceae
	<i>Euphorbia prostrata</i>	Euphorbiaceae
	<i>Alysicarpus vaginalis</i>	Fabaceae
Octavo punto	<i>Murraya paniculata</i>	Rutaceae
	<i>Synedrella nodiflora</i>	Asteraceae
	<i>Coccoloba uvifera</i>	Polygonaceae
	<i>Cyperus rotundus</i>	Cyperaceae

Fuente: Mawyin y Reyes, 2023.

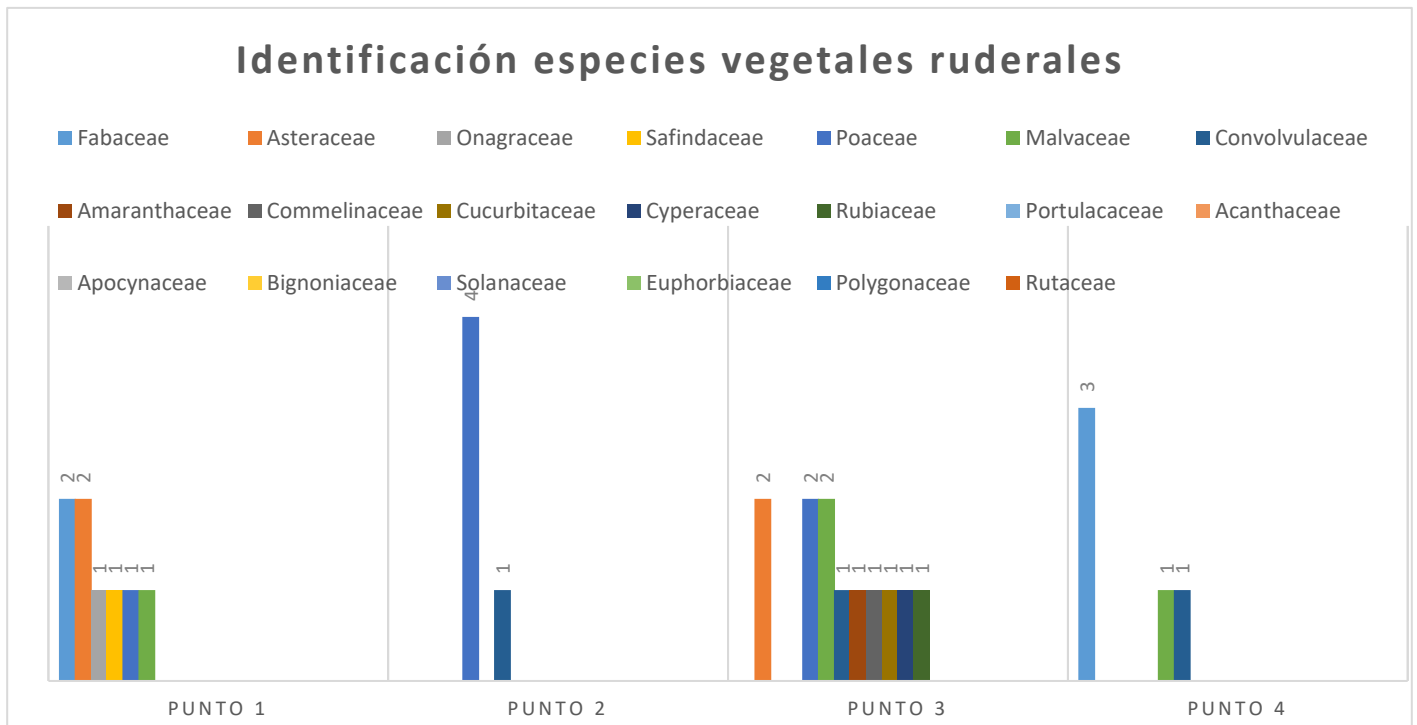


Figura 6. Representación gráfica de las especies vegetales ruderales según la familia en los puntos de muestreo (1, 2, 3 y 4) respectivamente. Fuente: Mawyin y Reyes, 2023

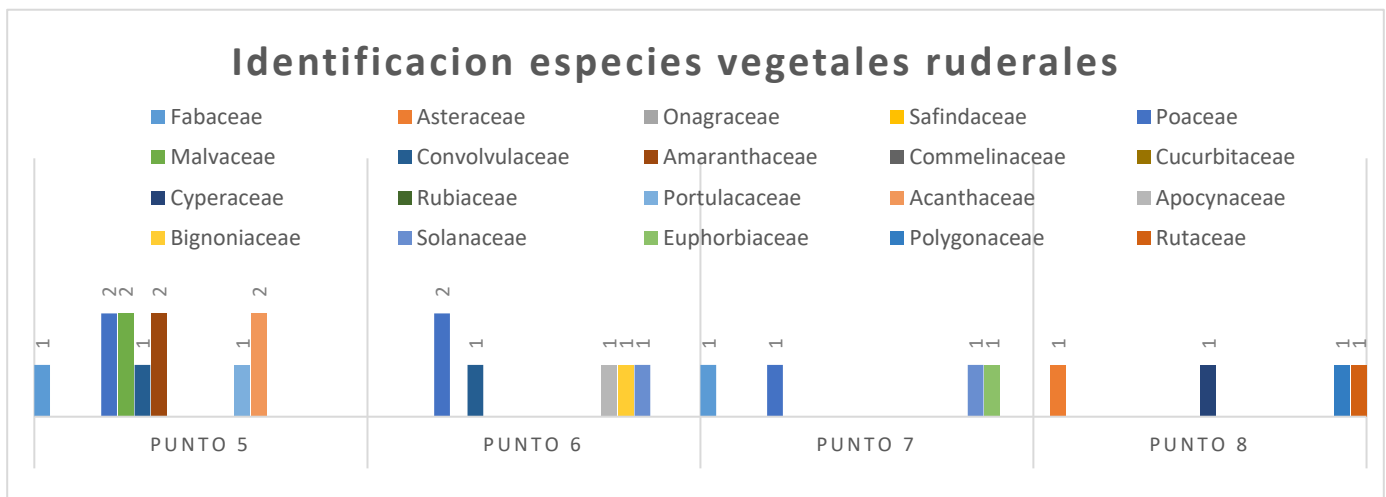


Figura 3. Representación gráfica de las especies vegetales ruderales según la familia en los puntos de muestreo (5, 6, 7 y 8) respectivamente. Fuente: Mawyin y Reyes, 2023

4.2 Porcentaje de germinación

Se colectaron 100 semillas de cada una de las tres especies vegetales más representativas del suelo adyacente al campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana. Se seleccionaron 10 semillas de cada especie, para el registro de tamaño y peso (rasgos importantes dentro de los procesos de germinación). Después, se sembraron en un semillero de espumaflex, 220 cavidades, 57 mm (largo) x 668 mm (largo) x 342 mm (ancho). El sustrato empleado fue turba estéril.

4.2.1 *Distimake aegyptius*

Se seleccionaron 10 semillas de *Bidens bipinnata* para obtener un promedio de tamaño y peso, véase la tabla 6 y anexo 1. Sus características morfológicas se visualizan en la figura 8.

Tabla 6. Datos numéricos correspondientes a tamaño y peso de la semilla perteneciente a *Distimake aegyptius*

Semilla	Tamaño (mm)	Peso (g)
1	0,4	0,0418
2	0,4	0,0381
3	0,4	0,0397
4	0,4	0,0355
5	0,4	0,0374
6	0,5	0,0428
7	0,5	0,0341
8	0,4	0,0414
9	0,4	0,0410
10	0,4	0,0384
Total	4,2	0,3902
Promedio	0,4	0,03902

Fuente: Mawyin y Reyes, 2023.



Figura 8. Visualización de la semilla *Distimake aegyptius* en estereomicroscopio trinocular "Acuaris". Fuente: Mawyin y Reyes, 2023.

Tiempo de germinación fue de 7 días.

Las plántulas correspondientes a la especie *Distimake aegyptius*, abarcan de 3 a 8 cm, 8 días después de la siembra. Las cavidades donde se observó crecimiento se muestran en el anexo 4. El tamaño de las plántulas se describe a continuación: cavidad 8 (4 cm), cavidad 50 (6 cm), cavidad 66 (8 cm), cavidad 90 (5 cm), cavidad 96 (3 cm), y cavidad 98 (4 cm). La temperatura del ambiente variaba entre 21 y 29 °C.

La tasa de germinación se calculó con la siguiente fórmula.

$$\text{Tasa de germinación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ semillas germinadas}}{\text{N}^\circ \text{ semillas sembradas}} \times 100$$

$$\text{Tasa de germinación} = \frac{6}{100} \times 100$$

$$\text{Tasa de germinación} = 6 \%$$

A partir de ese dato, se calculó la tasa de mortalidad.

$$\text{Tasa de mortalidad} = 100 - \text{Tasa de germinación}$$

Tasa de mortalidad = 100 – 6

Tasa de mortalidad = 94 %

4.2.2 *Chenchrus echinatus*

Se seleccionaron 10 semillas de *Bidens bipinnata* para obtener un promedio de tamaño y peso, véase la tabla 7 y anexo 2. Sus características morfológicas se visualizan en la figura 9.

Tabla 7. Registro de datos numéricos correspondientes a tamaño y peso de la semilla perteneciente a *Chenchrus echinatus*

Semilla	Tamaño (mm)	Peso (g)
1	1,5	0,0092
2	1,4	0,0114
3	1,3	0,0127
4	1,9	0,0111
5	1,1	0,005
6	1,2	0,0125
7	1,2	0,0045
8	1,6	0,0097
9	0,7	0,0068
10	1,2	0,0095
Total	13,1	0,0924
Promedio	1,3	0,0092

Fuente: Mawyin y Reyes, 2023



Figura 9. Visualización de la semilla *Chenchrus echinatus* en estereomicroscopio trinocular "Acuaris". Fuente: Mawyin y Reyes, 2023

Tiempo de germinación fue de 14 días.

Las plántulas correspondientes a la especie *Chenchrus echinatus*, abarcan de 2 a 12 cm, 15 días después de la siembra. Las cavidades donde se observó crecimiento se muestran en el anexo 5. El tamaño de las plántulas se describe a continuación: cavidad 21 (11 cm), cavidad 22 (9 cm), cavidad 37 (2 cm), cavidad 45 (7 cm), cavidad 71 (12 cm). La temperatura del ambiente variaba entre 21 y 29 °C.

La tasa de germinación se calculó con la siguiente fórmula.

$$\text{Tasa de germinación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ semillas germinadas}}{\text{N}^\circ \text{ semillas sembradas}} \times 100$$

$$\text{Tasa de germinación} = \frac{5}{100} \times 100$$

$$\text{Tasa de germinación} = 5 \%$$

A partir de ese dato, se calculó la tasa de mortalidad.

$$\text{Tasa de mortalidad} = 100 - \text{Tasa de germinación}$$

Tasa de mortalidad = 100 – 5

Tasa de mortalidad = 95 %

4.2.3 *Bidens bipinnata*

Se seleccionaron 10 semillas de *Bidens bipinnata* para obtener un promedio de tamaño y peso, véase la tabla 8 y anexo 3. Sus características morfológicas se visualizan en la figura 10.

Tabla 8. Registro de datos numéricos correspondientes a tamaño y peso de la semilla perteneciente a *Bidens bipinnata*

Semilla	Tamaño (mm)	Peso (g)
1	1,4	0,0042
2	1,6	0,0019
3	1,5	0,0035
4	1,4	0,0039
5	1,3	0,0017
6	1,7	0,0051
7	1,7	0,0025
8	1,4	0,0053
9	1,5	0,0049
19	1,5	0,0049
Total	15	0,0379
Promedio	1,5	0,0038



Figura 10. Visualización de la semilla *Bidens bipinnata* en estereomicroscopio trinocular

“Acuaris”. Fuente: Mawyin y Reyes, 2023.

Tiempo de germinación para esta especie no se observó germinación, debido a las condiciones climáticas estacionales a temporales por el fenómeno del niño. Véase anexo 3.

Las semillas de la especie *Bidens bipinnata*, no mostraron signos de germinación hasta cuatro semanas después de la siembra, véase anexo 6. La temperatura del ambiente variaba entre 21 y 29 °C.

Al no existir datos para la tasa de germinación, se asume valor de 0, y se calcula la tasa de mortalidad.

Tasa de mortalidad = 100 – Tasa de germinación

Tasa de mortalidad = 100 – 0

Tasa de mortalidad = 100 %

Cuatro semanas después de montado el experimento, a pesar de los esfuerzos, no se obtuvieron resultados esperados en lo referente a aparición de plántulas, por lo tanto, las tasas de

mortalidad fueron altas para las tres especies vegetales seleccionadas (*Distimake aegyptius*, *Chenchrus echinatus* y *Bidens bipinnata*). Los factores que afectaron la germinación están denotados por condiciones de temperatura, calidad de las semillas, profundidad de la siembra, calidad del sustrato, y proporcionar condiciones de humedad inadecuadas.

Bressi, D. en 2016 analizo el proceso de germinación de la especie *Trixis praestans* de la familia Asteraceae, y en base s loa resultados obtenidos, concluyo que las poblaciones de esta planta, obtuvieron buen índice en cuanto al potencial de germinación a bajas temperaturas alternas (15/25 °C) y continuas (20°C). El autor propone que estas características estén relacionadas al periodo de otoño e invierno, donde ocurre el ciclo reproductivo de la especie. Según Baskin et al. (1993), las semillas de *T. praestans* mostraron un aumento en el porcentaje de germinación, después de un periodo extendido de almacenamiento. En base a esto se asume que existe dormición fisiológica en las poblaciones de *T. praestans*. Los factores de luz, y el periodo postcosecha son de suma importancia para superar la etapa de dormición en especies de Asteraceae (Bunker 1994).

Ferrarotto, M., & Da Silva, H. en 2013, evaluaron la germinación y morfología de *Phalaris canariensis*, perteneciente a la familia Poaceae, expusieron a las semillas a tratamientos en capsulas de Petri: T1, luz natural; T2, luz roja; T3, luz roja-rojo lejano; T4, luz roja-rojo lejano-roja; T5, oscuridad; T6, filtro transparente; T7, filtro azul; T8, filtro verde y T9, filtro rojo. Evaluaron porcentaje de germinación, y los valores más altos los obtuvo el tratamiento T5 (condiciones de oscuridad), seguido por T1 y T2 (luz natural y luz roja), tomando en cuenta las diferencias estadísticas, concluyeron que las semillas de *Phalaris canariensis* muestran una reacción fotoblástica negativa.

Sobrero, M. et al., en 2003, analizaron los factores que influyen sobre la germinación de *Ipomoea nil* (L.) Roth, familia Convolvulaceae. Se llevaron a cabo distintos métodos de escarificación, tales como incisión, lijado e inmersión en ácido sulfúrico. El porcentaje de germinación se determinó, estableciendo diferentes condiciones de temperatura y fotoperiodos. La germinación resulto positiva para pH neutros y ácidos. Se obtuvieron los valores para porcentaje de germinación más altos, en los tratamientos de escarificación acida de 60 minutos y con la incisión, 99.00 y 92.70% respectivamente. En cuanto a temperatura, resultados favorables se registraron en un rango de 18 a 32 °C, con valores de germinación de 71 y 84%. *Ipomoea nil*, finalmente demostró un elevado índice de adaptabilidad para la germinación, abarcando temperaturas continuas y alternas, sin embargo, no se observó germinación a bajas temperaturas. Esta especie para germinar no requiere de un estímulo lumínico. Los autores relatan que posee una capacidad germinativa potencialmente alta, favorecida por escarificación mecánica y química, en ambientes con mayores amplitudes térmicas.

4.3 Cuantificación de Cd y Pb por espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente ICP-OES

Se tomaron muestras de suelo por triplicado, de cada uno de los ocho transectos designados, logrando un total de 24 muestras. Las muestras se secaron en una estufa Memmert Peltier IPP41ecoplus a una temperatura de 110 °C. Luego se pesaron 30 g de cada una, para su tamizaje y molienda. En el proceso de digestión se pesaron 0,5 g y estas, se filtraron con ayuda de una bomba al vacío. Al procesar las muestras en el ICP-OES, se preparó una curva de calibración para cada metal estudiado.

4.4 Registro datos de concentración Cd y Pb para muestras de suelo

De los puntos de muestreo del suelo adyacente del campus María Auxiliadora, la concentración de Cd más alta fue en el punto ocho, como se observa en la tabla 9 con una concentración de 2,57 ppm de Cd, mientras que el más bajo fue en el punto número tres, con una concentración de 1,07 ppm de Cd. Datos similares han sido reportados en carreteras de México, con una concentración de 9,30 ppm de Cd (Prieto, J., Martínez, R., & Cruz, R., 2015).

Tabla 9. Monitoreo de Cd y Pb en suelo adyacente del campus María Auxiliadora de la UPS.

Punto de muestreo	Cadmio (ppm)	Plomo (ppm)
1	1,53 ± 0,32 A B C	4,60 ± 1,21 A B
2	1,23 ± 0,32 A B	6,67 ± 1,21 B
3	1,07 ± 0,32 A	1,73 ± 1,21 A
4	1,50 ± 0,32 A B	4,60 ± 1,21 A B
5	2,07 ± 0,32 A B C	2,07 ± 1,21 A
6	1,73 ± 0,32 A B C	2,93 ± 1,21 A B
7	2,20 ± 0,32 B C	1,13 ± 1,21 A
8	2,57 ± 0,32 C	0,83 ± 1,21 A

Letras distintas en la misma hilera indican diferencias estadísticas significativas según test de Duncan ($p < 0,05$); \pm error estándar. Fuente: Mawyin y Reyes, 2023

Quero-Jiménez et al., en 2017 analizaron la acumulación de metales pesados en el suelo adyacente de la Empresa Electroquímica de Sagua. Se reportan resultados desde 0,13 a 0,88 ppm para Cd y 4,64 a 18,21 ppm para Pb, existe una diferencia significativa entre ambos, sin embargo, no llegan a superar el valor promedio para suelos no expuestos a contaminación antropogénica, en Cuba, según Rodríguez-Alfaro et al., (2015). A pesar de que no sobrepasan el límite, estos resultados preliminares podrían ser usados como señal de alerta y proponer estrategias de remediación y prevención de contaminación para el suelo.

4.5 Registro datos de concentración de Cd y Pb en raíz, hoja y suelo para *Distimake aegyptius*, *Chenchrus echinatus* y *Bidens bipinnata*

Se recolectaron muestras de raíz, hoja y suelo para cada una de las tres especies vegetales seleccionadas en la presente investigación. Las muestras se secaron en una estufa Memmert Peltier IPP41ecoplus a una temperatura de 110 °C. Una vez secadas, se tamizaron, molieron y pesaron, hasta obtener 0,5 g para digerir. Después, se filtraron por bomba al vacío, teniendo un total de nueve muestras, y se procesaron en el ICP-OES. La concentración de Cd y Pb para hoja, raíz y suelo de cada especie vegetal se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Acumulación de Cd y Pb en plantas acumuladoras adyacentes al campus María Auxiliadora de la UPS.

Especie	Muestra	Cadmio (ppm)	Plomo (ppm)
<i>Distimake aegyptius</i>	Hoja	0,10 ± 0,01 A	0,10 ± 0,01 A
	Raíz	0,90 ± 0,01 B	0,60 ± 0,01 A
	Suelo	1,59 ± 0,02 A B	3,90 ± 0,01 C
<i>Bidens bipinnata</i>	Hoja	0,19 ± 0,01 B	0,20 ± 0,01 B
	Raíz	0,30 ± 0,01 A	0,70 ± 0,01 B
	Suelo	1,53 ± 0,02 A	3,70 ± 0,01 B
<i>Chenchrus echinatus</i>	Hoja	0,10 ± 0,01 A	0,19 ± 0,01 B
	Raíz	1,40 ± 0,01 C	1,03 ± 0,04 C
	Suelo	1,60 ± 0,02 B	1,10 ± 0,01 A

Letras distintas en la misma hilera indican diferencias estadísticas significativas según test de Tukey ($p < 0,05$); \pm error estándar.

Hojas de plantas hiperacumuladoras

Las hojas de las plantas presentaron menor acumulación de metales pesados, obteniendo en *Bidens bipinnata* 0,19 ppm de Cd. También, se registran valores de 0,10 ppm Cd en *D. aegyptius*

y *Chenchrus echinatus*. De igual manera, para Pb los valores abarcan desde de 0,10 ppm para *Distimake aegyptius*, 0,19 ppm para *Chenchrus echinatus* y 0,20 ppm para *Bidens bipinnata*. Por lo tanto, no existen diferencias significativas.

Raíz de plantas hiperacumuladoras

Bidens bipinnata y *Distimake aegyptius* presentan valores de absorción para Cd y Pb en raíces menores a 1. Por otro lado, *Chenchrus echinatus* muestra valores mayores a 1, comprendidos entre 1,03 ppm para Cd y 1,40 ppm para Pb.

Suelo rizosférico de plantas hiperacumuladoras

La absorción en suelo para las tres plantas mostro la mayor acumulación de metales pesados, todos los valores son mayores a 1, para Cd contemplan resultados muy similares entre sí, desde 1,53 ppm para *Bidens bipinnata*, 1,59 ppm para *Distimake aegyptius* y 1,60 ppm para *Chenchrus echinatus*. Para Pb, 1,10 ppm para *Chenchrus echinatus*, siendo el más bajo, en contraste con *Bidens bipinnata* que reporta 3,70 ppm y *Distimake aegyptius* con 3,90 ppm.

Ramírez Gottfried et al., (2020) reportan, para *Ambrosia ambrosioides* de la familia Asteraceae valores de acumulación de 249.6 ppm para Pb y 2227.8 ppm para Cd en raíz, asimismo, para hoja, 420.1 ppm para Cd y 710.7 ppm para Pb. Siendo la raíz, donde se presentó mayor acumulación de Cd.

Peláez-Peláez, M., et al (2016) calcularon la presencia de metales pesados para especies de *Brachiaria* de la familia Poaceae, en hojas proyectan valores en un rango de 0,01 a 0,024 ppm para Cd y 1,01 a 1,32 ppm para Pb. En raíces se registran valores desde 0,02 a 0,034 ppm para Cd y 1,72 a 1,92 ppm para Pb. De igual manera, para suelo valores entre 0,1 a 1,11 ppm de Cd y 12,90

a 23,43 ppm para Pb. Los investigadores señalan que, las zonas de estudio (refinería), cuando los metales son emitidos en el ambiente, tienden a acumularse en las distintas especies vegetales, en este caso, las de la familia Poaceae y su estadía en el medio se prolongaría durante años (Arroyave y Arque, 2010).

Cáceres Atencia et al., (2023) evaluaron la acumulación de Cd y Pb en *Ipomoea batatas*, de la familia Convolvulaceae. Para Cd no se registran resultados. Sin embargo, para Pb en raíz los valores abarcan un rango desde 4.08 a 77.1 ppm para Pb. En hojas 0,99 a 43.43 ppm para Pb, dichos valores, superan los límites máximos establecidos para el consumo humano, según la Unión Europea, MERCOSUR y Codex Alimentarius, según estipula el informe "Monitoreo de residuos químicos y otros contaminantes en alimentos agropecuarios primarios y piensos" emitido por el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (2021).

4.6 Cálculo del factor de translocación y factor de bioconcentración de Cd y Pb para *Distimake aegyptius*, *Chenchrus echinatus* y *Bidens bipinnata*

Los factores de bioconcentración se calculan a partir de los valores de acumulación del metal en la parte aérea y la raíz de la planta, en relación a los valores de acumulación del metal en el suelo. El factor de translocación fue calculado entre los valores de acumulación del metal en la parte aérea dividida para los valores de acumulación del metal en la raíz de la planta. En lo que concierne a los resultados de factor de translocación y factor de bioconcentración para Cd y Pb ver tabla 11.

Tabla 11. Análisis de la translocación y bioconcentración en tres especies hiperacumuladoras

Especie	Muestra	Factor de translocación	Factor de bioconcentración
<i>Distimake aegyptius</i>	Cd	1,40 ± 0,01 A	0,96 ± 0,02 B
	Pb	0,18 ± 0,01 A	0,62 ± 0,01 A
<i>Bidens bipinnata</i>	Cd	0,65 ± 0,02 B	0,43 ± 0,02 A
	Pb	0,29 ± 0,01 B	0,75 ± 0,01 B
<i>Chenchrus echinatus</i>	Cd	0,08 ± 0,01 A	1,46 ± 0,01 C
	Pb	0,19 ± 0,01 A	1,20 ± 0,04 C

Letras distintas en la misma hilera indican diferencias estadísticas significativas según test de Tukey ($p < 0,05$); \pm error estándar; FB= Factor de bioconcentración; FT= Factor de translocación.

Los resultados para factor de bioconcentración obtenidos para el Cd fueron los siguientes: 0,96 para *Distimake aegyptius*, 0,43 para *Bidens bipinnata* y 1,46 para *Chenchrus echinatus*.

Para Pb se detallan a continuación: 0,62 para *Distimake aegyptius*, 0,75 para *Bidens bipinnata* y 1,20 para *Chenchrus echinatus*. La especie *Chenchrus echinatus* para ambos metales arroja el valor de factor de bioconcentración más alto, de modo que, por ser mayor a 1, esta especie se considera acumuladora de metales pesados. Por otro lado, *Bidens bipinnata* y *Distimake aegyptius* poseen valores menores a 1, lo que indica que se catalogan como especies excluidoras de metales pesados.

Los resultados obtenidos de factor de translocación para Cd fueron los siguientes: 1,40 para *Distimake aegyptius*, 0,65 para *Bidens bipinnata* y 0,08 para *Chenchrus echinatus*. En cambio, para Pb se detallan a continuación: 0,18 para *Distimake aegyptius*, 0,29 para *Bidens bipinnata* y 0,19 para *Chenchrus echinatus*. La especie *Distimake aegyptius* fue la única que reporta un valor

superior a 1 para el factor de translocación, específicamente para Cd. Esto da como resultado que la planta tiene mayor capacidad de acumular y transportar metales desde el suelo. Se podría usar para fines de fitoextracción de suelos contaminados por metales pesados. Sin embargo, las especies restantes *Bidens bipinnata*, *Chenchrus echinatus* y *Distimake aegyptius*, para Pb presentan valores menores a 1. Se estima que estas plantas podrían ser empleadas para fines de fitoestabilización.

Munive Cerrón et al., (2018), observaron resultados similares en plantas de la familia Poaceae, tal es el caso de *Zea mays* comportándose como planta exclusora y estabilizadora de Cd y Pb en los suelos contaminados, con un FB entre 0.5 - 0.23 ppm, y para FT entre 0.6- 0.30 ppm.

Ramírez Gottfried et al., (2020), proponen que, *Ambrosia ambrosioides* de la familia Asteraceae, absorbe suficiente cantidad de metales pesados mostrándose como hiperacumuladora de Cd, puede ser usada para técnicas de fitorremediación de suelos, presenta valores para FB entre 43.02 ppm para Pb y 92.04 ppm para Cd. Por otro lado, se registran valores para FT entre 0.38 ppm de Pb y 4.85 ppm de Cd, esto quiere decir que la planta transloca Cd con mayor facilidad que Pb, tal como indica Díaz et., al en 2001, quien menciona que la translocación en Pb es limitada.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El área de estudio se dividió en ocho puntos de muestreo, para cada uno de ellos se colectaron las especies vegetales ruderales con características distintas entre sí, para su posterior caracterización y herborización. Las familias donde se registraron más ejemplares son, Poaceae y Fabaceae. Seguidas de, Rutaceae, Malvaceae, Amaranthaceae y Polygonaceae.
- El porcentaje de germinación fue considerablemente bajo para todas las especies sembradas. y tasa de mortalidad. *Distimake aegyptius* obtuvo un porcentaje de germinación del 6%, *Chenchrus echinatus* del 5% y *Bidens bipinnata* del 0%. Por consiguiente, se registraron valores para la tasa de mortalidad relativamente altos, en un rango de 95 a 100%. Esto se debe a que las condiciones de germinación no fueron las óptimas para el desarrollo de plántulas.
- El suelo adyacente a la Universidad Politécnica Salesiana se ve afectado por metales pesados, a causa de una empresa fabricante de sacos y lonas de polipropileno, pues la exposición a estos metales puede ocurrir en cualquier etapa del ciclo de vida de los productos de polipropileno.

- Las especies vegetales ruderales localizadas en el área de estudio también se ven afectadas por la presencia de metales pesados *Chenchrus echinatus*, se considera una planta acumuladora de metales pesados y *Distimake aegyptius* posee mayor capacidad de acumular y transportar el metal desde el suelo, y podría usarse para estrategias de fitoextracción. Las demás especies, podrían ser empleadas para fines de fitoestabilización.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda dar un tratamiento previo a las semillas antes de la siembra, como la escarificación para obtener resultados favorables. Además de proporcionar condiciones de humedad, luminosidad y temperatura específicas, que varían según la especie.
- Se recomienda realizar un análisis genético y fisiológico para comprender mejor los mecanismos que permiten a las plantas acumular estos metales pesados.
- Analizar la interacción de Cd y Pb sobre las especies estudiadas.

Bibliografía

Agency of Toxic Substances and Disease Registry. Case studies in environmental medicine. Lead toxicity. US Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA: The Agency; 2007.

Aguirre, Z. & Kvist, L. P. (2005). Composición florística y estado de conservación de los bosques secos del suroccidente del Ecuador. *Lyonia*, 8, 41-67.

Aguirre, Z., Linares-Palomino, R., & Kvist, L. (2006). Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. *Arnaldoa*, 13, 324-350.

Ahuja, S., & Jespersen, N. (2006). MODERN INSTRUMENTAL ANALYSIS. [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/journal/paperinformation.aspx?paperid=18266](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/journal/paperinformation.aspx?paperid=18266)

Arroyave Q.C. y Araque M. P. (2010). Evaluación de la bioacumulación y toxicidad de cadmio y mercurio en pasto llanero (*Brachiaria dictyoneura*). *Vitae*, 17(1), 45-49.

Atiencia, C. (2023). “Determinación de Cadmio, Plomo, Mercurio y Arsénico en *Beta vulgaris*, *Ipomoea batatas* y *Beta vulgaris* var. *cicla*, Santa”. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4299/52770.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Audet, P. y Charest C. 2007. Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective. *Environmental Pollution*. 147 (1): 231-237.

Baker, A. 1981. Accumulators and excluders: strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of plant nutrition*, 3 (1-4): 643-654.

Baker, A. J. M., McGrath, S. P., Reeves, R. D., & Smith, J. A. C. (2000). Metal Hyperaccumulator Plants: A Review of the Ecology and Physiology of a Biological Resource for Phytoremediation of Metal-Polluted Soils. In *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water* (pp. 85-107). CRC Press.

Barceló J, Poschenrieder C (1990) Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *J. Plant Nutr.* 13: 1-37.

Baskin C.C., Baskin J.M. y M.A. Leck. 1993. Afterripening pattern during cold stratification of achenes of ten perennial Asteraceae from eastern north America, and evolutionary implication. *Plant Species Biology*. Bunker K.V. 1994. Overcoming poor germination in Australian daisies (Asteraceae) by combinations of gibberellin, scarification, light and dark. *Scientia. Horticulturae*. 59: 243-252.

Batlla, D.; V. Verges and R.L. Benech-Arnold, 2003. A quantitative analysis of seed responses to cycle-doses of fluctuating temperatures in relation to dormancy: Development of a thermal time model for *Polygonum aviculare* L. seeds. *Seed Science Research* 13, 197- 207.

Benech-Arnold, R.L.; C.M. Ghersa; R.A. Sanchez and P. Insausti, 1990. Temperature effects on dormancy release and germination rate in (*Sorghum halepense* (L.) Pers. Seeds: a quantitative analysis. *Weed Research* 30: 81-89.

Bressi, D. (2016). Comportamiento germinativo de *Trixis praestans* (asteraceae).

Brown, S., Chaney, R., Angle, J y Baker, A. 1995. Zn and Cd uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. *Soil Science Society of America Journal*. 59 (1): 125-133.

Budd P, Montgomery J, Cox A, Krause P, Barreiro B, Thomas RG. The distribution of lead within ancient and modern human teeth: implications for long-term and historical exposure monitoring.

Sci Total Environ. 1998; 220:121-36.

<https://www.scirp.org/%28S%28vtj3fa45qm1ean45vvffcz55%29%29/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2228310>

Camacho Barreiro A, Ariosa Roche L. Diccionario de términos ambientales. La Habana: Centro Félix Varela; 1998.p.45. https://biblio.colsan.edu.mx/arch/especi/lc_otro_007.pdf

César Quero-Jiménez, Pedro, Zorrilla Velazco, Margie, Morales Fernández, Sergio, & Rodríguez Pequeño, Miriela. (2017). Determinación de la contaminación por metales pesados en suelos aledaños a la empresa electroquímica de Sagua. *Centro Azúcar*, 44(3), 53-62. Recuperado en 02 de septiembre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000300006&lng=es&tlng=es.

Charles B, B., & Kenneth J, F. (2004). Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy. *Emission Spectroscopy*, 1–22.

Deng, H., Ye, Z y Wong, M. 2004. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environmental Pollution*, 132 (1): 129-40.

Dunia, R. H. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102930192017001200012#:~:text=Los%20metales%20pesados%20son%20t%C3%B3xicos,su%20degradaci%C3%B3n%20natural%20es%20dif%C3%ADcil

Espinosa, C. I., Cabrera, O., Luzuriaga, A., & Escudero, A. (2011). What Factors Affect Diversity and Species Composition of Endangered Tumbesian Dry Forests in Southern Ecuador Biotropica, 43, 15-22.

Ferrarotto, M. S., & Da Silva, H. (2013). Germinación y morfología de alpiste (*Phalaris canariensis* L.) Poaceae, bajo distintas condiciones de calidad de luz. *Polibotánica*, (36), 95-104. Recuperado en 03 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140527682013000200006&lng=es&tlng=es.

Harvey, D. (2000). *Modern Analytical Chemistry*. In McGraw-Hill Higher Education.

Hou, X., Amais, R. S., Bradley, T., Jone and George, L., & Donati. (2004). Inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Analytical Instrumentation Handbook*, Third Edition, 57–74.

Lokeshwari, H. y Chandrappa, G. 2006. Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation. *Current Science*, 91 (5): 622-627.

Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham, S. J., & McGrath, S. P. (2001). Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils: natural hyperaccumulation versus chemically enhanced phytoextraction. *Journal of Environmental Quality*

Mattina, M., Lannucci-Berger, W., Musante, C. y White, J. 2003. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. *Environmental Pollution*, 124: 375378.

Munive Cerrón, Rubén, Loli Figueroa, Oscar, Azabache Leyton, Andrés, & Gamarra Sánchez, Gilberto. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551-560.
<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>

Peláez-Peláez, Manuel José, Bustamante Cano, John Jairo, & Gómez López, Eyder Daniel. (2016). Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de brachiaria en el Magdalena medio colombiano. *Luna Azul*, (43), 82-101.

Poma PA. A dangerous folk therapy. *J Natl Med Assoc.* 1984;76:387-9.
https://www.researchgate.net/publication/312931873_Intoxicacion_por_plomo_en_humanos

Prieto, J. R. E., Aùn, E. V., Martínez, R. M. Q., & Cruz, R. A. S. “Uma santa rosa” caso de éxito en la reintroducción del borrego cimarrón “*ovis canadensis mexicana*” en chihuahua. In *Congreso Internacional de Investigación Científica Multidisciplinaria* (p.4).

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1473/1/MEMORIAS-ICM-2015-sustentabilidad-y-Medio-Ambiente.pdf#page=4>

Puga Soraya. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162006000100020

Ramírez Gottfried, Ricardo Israel, García Carrillo, Mario, Álvarez Reyna, Vicente de Paul, González Cervantes, Guillermo, & Hernández Hernández, Vicente. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1529-1540. Epub 04 de diciembre de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 16(2), 66-77. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/6096110.pdf>

Sample preparation techniques for AAS, ICP-OES and ICP-MS for regulated testing laboratories de la marca ThermoFisher Scientific del año 2021.

Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (2021). SENASA. Informe del Monitoreo de Residuos Químicos y otros Contaminantes en Alimentos Agropecuarios Primarios y Piensos, Año 2021.

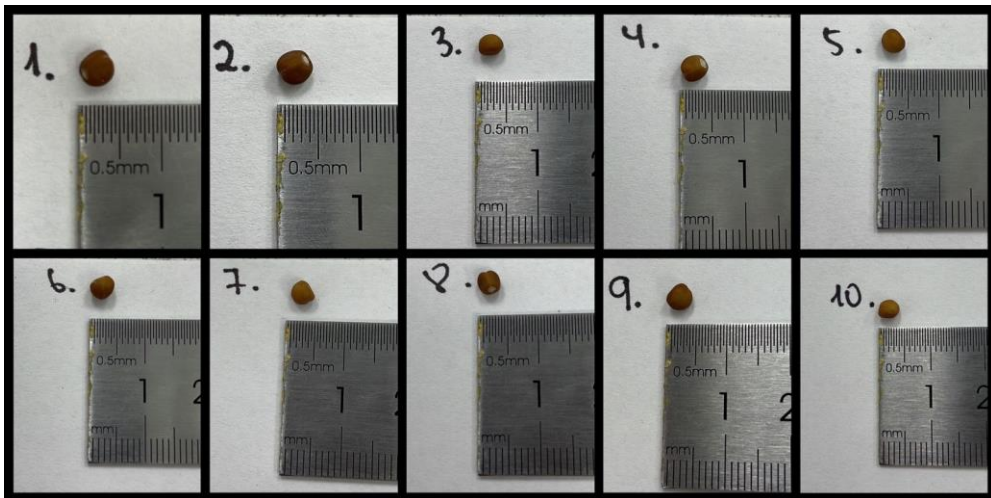
Sobrero, M. T., Fioretti, M. N., Chaila, S., Avila, O. B., & Ochoa, M. D. C. (2003). Factores que influyen sobre la germinación de *Ipomoea nil* (L.) Roth. *Agro sur*, 31(2), 60-68.
<http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/3718/4581>

Tiempo en Guayaquil - Meteored. (2023). Meteored.com.ec | Meteored.
https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Guayaquil-America+Sur-Ecuador-Guayas--1-19995.html

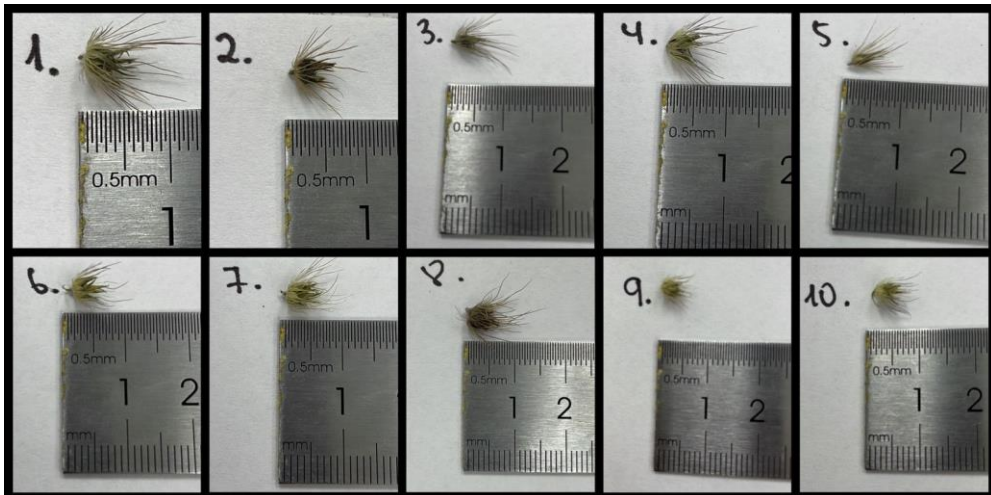
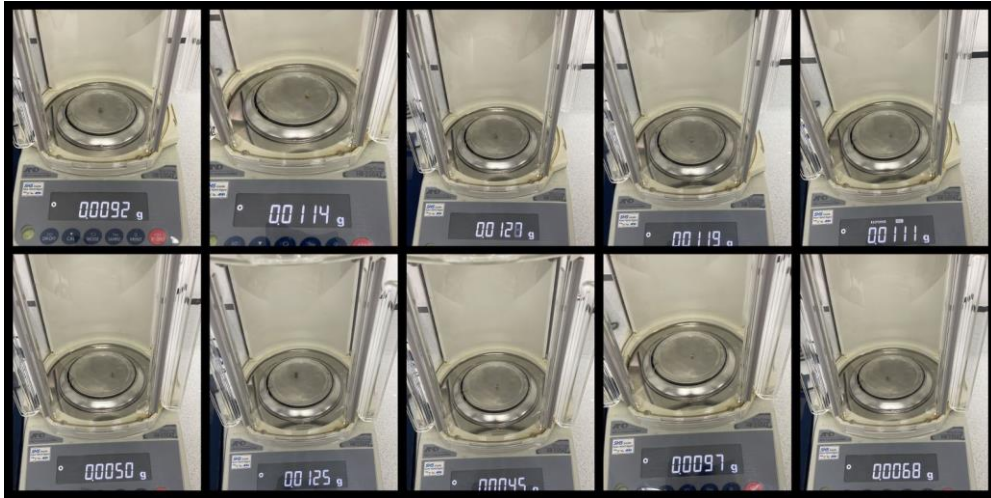
Zhang W., Cai, Y., Tu, C. y Ma, L. 2002. Arsenic speciation and distribution in an arsenic hyperaccumulating plant. *Science of the Total Environment*, 300 (1-3): 167-177. - Zayed, A., Suvarnalatha, G. y Terry, N., 1998. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality Abstract*. 3 (27):715-721.

Anexos

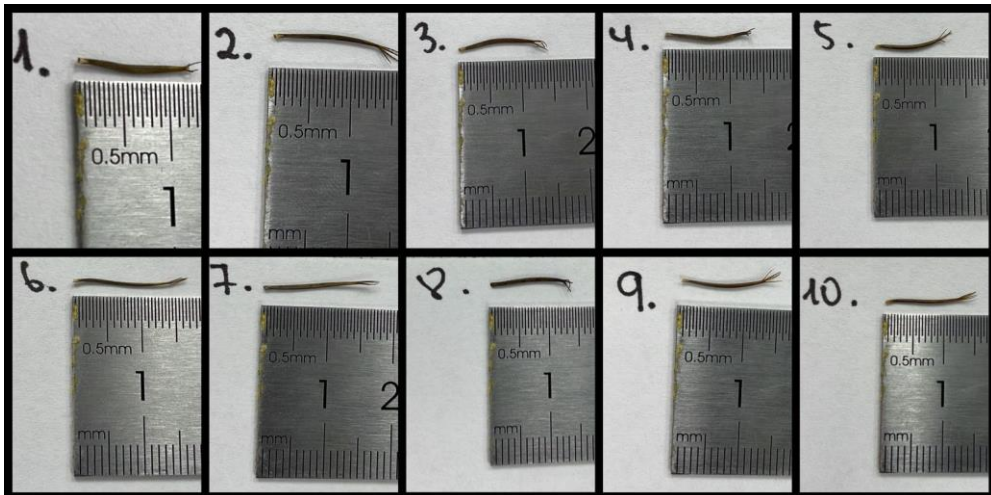
Anexo 1. Peso y tamaño de las semillas de *Distimake aegyptius*



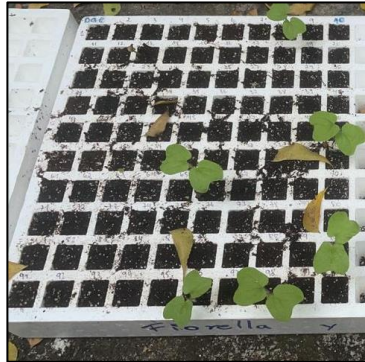
Anexo 2. Peso y tamaño de las semillas de *Chenchrus echinatus*



Anexo 3. Peso y tamaño de las semillas de *Bidens bipinnata*



Anexo 4. Plántulas de la especie *Distimake aegyptius*, 8 días después de la siembra, cavidades 8, 50, 66, 90, 96, y 98.



Anexo 5. Plántulas de *Chenchrus echinatus*, 15 días después de la siembra, cavidades 21, 22, 37, 45 y 71.



Anexo 6. La especie *Bidens bipinnata*, no mostro signos de germinación, en ninguna de las cavidades correspondientes.



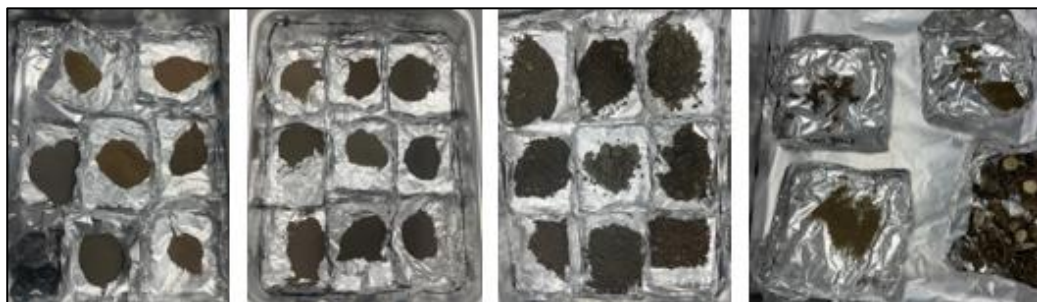
Anexo 7. Toma de muestras de suelo y especies vegetales ruderales



Anexo 8. Área de estudio



Anexo 9. Muestras de suelo y especies vegetales ruderales secadas por 48 horas



Anexo 10. Tamizaje, molienda de las muestras de suelo y especies vegetales ruderales.

Envasadas en tubos de Digestion (0,5 g)



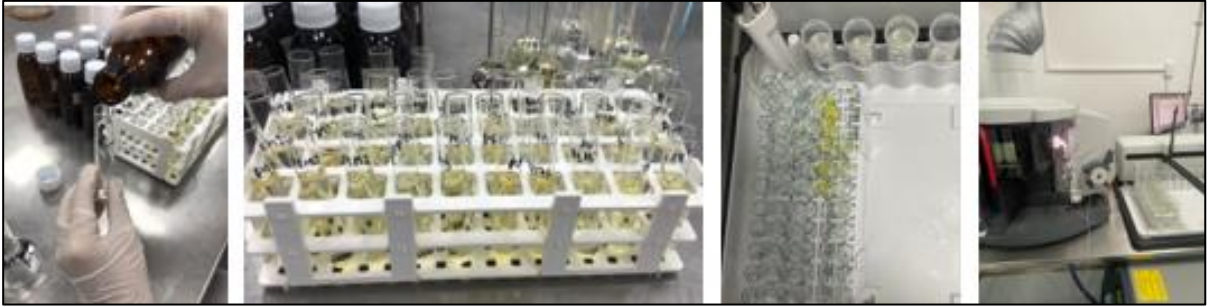
Anexo 11. Adición de ácido nítrico, ácido clorhídrico y filtración por bomba al vacío para la digestión en horno microondas



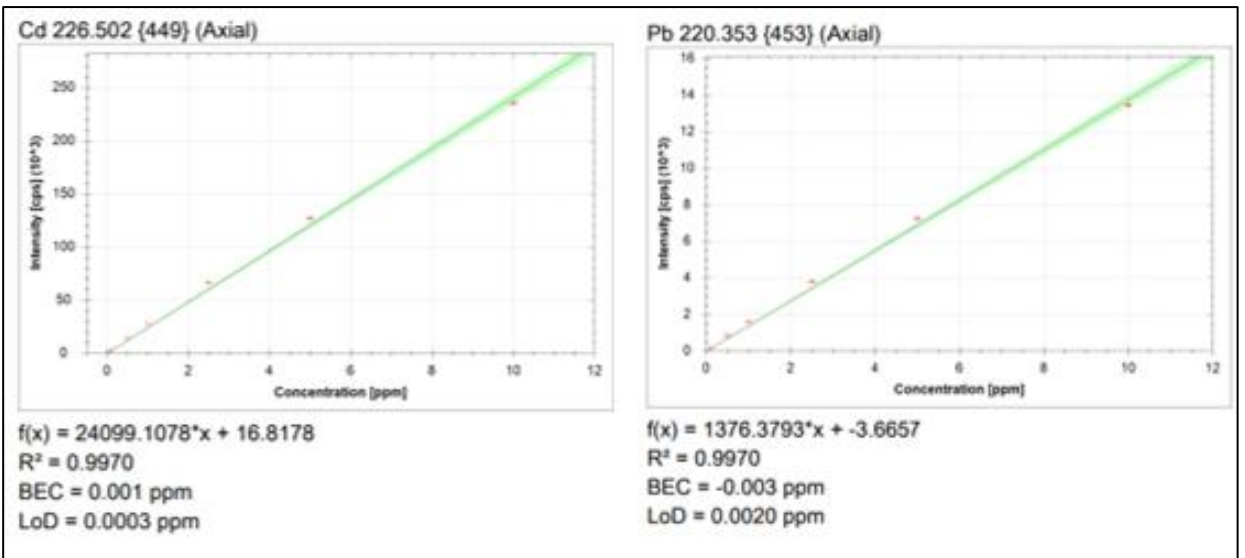
Anexo 12. Muestras de suelo y especies vegetales ruderales digeridas



Anexo 13. Procesamiento de muestras en ICP-OES



Anexo 13. Curvas de calibración para Cd y Pb



Anexo 14. Validación de hiperacumulación para las especies colectadas

PUNTO DE MUESTREO	Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Validación de Hiperacumulación (si/no)	Pubmed NCBI	SCIELO	GOOGLE ACADEMY	ELSEVIER
PRIMER PUNTO	Betilla	<i>Rhynchosia minima</i>	Fabaceae	Si		x	x	
	Flor de espuma	<i>Argentina adenophora</i>	Asteraceae	Si		x	x	
	Hierba de tajo	<i>Eclipta prostrata</i>	Asteraceae	Si	x	x	x	
	Clavo de agua	<i>Ludwigia peruviana</i>	Onagraceae	Si		x	x	x
	Betilla	<i>Rhynchosia minima</i>	Fabaceae	Si		x	x	
	Cola de zorrillo	<i>Ptelea trifoliata</i>	Safindaceae	No			X	
	Guizazo	<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae	Si		x	x	
SEGUNDO PUNTO	Escobilla	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Si		x	x	
	Pasto armilán	<i>Echinochloa colona</i>	Poaceae	Si		x	x	
	Pata de gallo	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Poaceae	Si		x	x	
	Pasto cola de pavo real	<i>Chloris barbata</i>	Poaceae	Si		x	x	
TERCER PUNTO	Sorgo de monte	<i>Sorghum halepense</i>	Poaceae	Si		x	x	x
	Campanilla	<i>Merremia umbellata</i>	Convolvulaceae	Si		x	x	
	Pasto niño	<i>Sporobolus pyramidatus</i>	Poaceae	No			x	
	Lopulina	<i>Melochia lupulina</i>	Malvaceae	No		x		
	Picha de gato	<i>Achyranthes aspera</i>	Amaranthaceae	Si		x	x	
	Canutillo	<i>Commelina diffusa</i>	Commelinaceae	Si		x	x	
	Cadillo de punta	<i>Bidens bipinnata</i>	Asteraceae	Si		x	x	
	Pasto armilán	<i>Echinochloa colona</i>	Poaceae	Si		x	x	
	Pepino diablito	<i>Cucumis dipsaceus</i>	Cucurbitaceae	Si		x	x	
	Chuva	<i>Ageratum conyzoides</i>	Asteraceae	Si		x	x	
	Trompillo	<i>Distimake aegyptius</i>	Convolvulaceae	No			x	
CUARTO PUNTO	Cebollin	<i>Cyperus rotundus</i>	Cyperaceae	Si		x	x	
	Juana la blanca	<i>Mitracarpus hirtus</i>	Rubiaceae	Si		x	x	
	Babosilla	<i>Sida acuta</i>	Malvaceae	Si		x	x	
	Purpurina	<i>Tephrosia purpurea</i>	Fabaceae	No				
	Lopulina	<i>Melochia lupulina</i>	Malvaceae	No				
	Compoño	<i>Albizia multiflora</i>	Fabaceae	No			x	
	Estrella roja	<i>Ipomoea coccinea</i>	Convolvulaceae	Si		x	x	
QUINTO PUNTO	Betilla	<i>Rhynchosia minima</i>	Fabaceae	Si		x	x	
	Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	Si	x	x	x	
	Campanilla rosa	<i>Convolvulus althaeoides</i>	Convolvulaceae	No				
	Olotillo	<i>Tetramerium nervosum</i>	Acanthaceae	Si		x	x	
	Guizazo	<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae	Si		x	x	
	Mimosa	<i>Mimosa quadrivalvis</i>	Fabaceae	Si		x	x	
	Camarón	<i>Ruellia blechum</i>	Acanthaceae	Si		x	x	
	Sorgo de monte	<i>Sorghum halepense</i>	Poaceae	Si		x	x	
	Bledo	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Amaranthaceae	Si		x	x	x
	Trompillo	<i>Distimake aegyptius</i>	Convolvulaceae	No			x	
SEXTO PUNTO	Escoba de bruja	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Si		x	x	
	Babosilla	<i>Sida acuta</i>	Malvaceae	Si		x	x	
	Trompillo	<i>Distimake aegyptius</i>	Convolvulaceae	No			x	
	Mala capa	<i>Prestonia mollis</i>	Apocynaceae	Si	x	x	x	
	Escoba de bruja	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Si		x	x	
	Muyollo de montaña	<i>Tecoma castanifolia</i>	Bignoniaceae	Si		x	x	
	Guizazo	<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae	Si		x	x	
SEPTIMO PUNTO	Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i>	Poaceae	Si		x	x	
	Tabaquillo	<i>Senecio viscosus</i>	Solanaceae	No				
	Gramma	<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae	Si		x	x	x
	Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i>	Solanaceae	Si	x	x	x	
OCTAVO PUNTO	Hierba de la golondrina	<i>Euphorbia prostrata</i>	Euphorbiaceae	No			x	
	Maní cimarrón	<i>Alysicarpus vaginalis</i>	Fabaceae	No			x	
	Mirto	<i>Murraya paniculata</i>	Rutaceae	No			x	
	Guacara	<i>Synedrella nodiflora</i>	Asteraceae	Si		x	x	
	Uva de playa	<i>Coccoloba uvifera</i>	Polygonaceae	Si		x	x	
Cebollin	<i>Cyperus rotundus</i>	Cyperaceae	Si		x	x		

Anexo 15. Análisis de varianza para concentración de Cd y Pb en suelo

CADMIO (ppm)

MUESTRA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
suelo	CADMIO (ppm)	9	0,64	0,52	1,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	2	4,9E-03	5,42	0,0452
ESPECIE	0,01	2	4,9E-03	5,42	0,0452
Error	0,01	6	9,0E-04		
Total	0,02	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07516
Error: 0,0009 gl: 6

ESPECIE	Medias	n	E.E.
Biden bipinata	1,53	3	0,02 A
Distimake aegyptius	1,59	3	0,02 A B
Chenchrus echinatus	1,60	3	0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

PLOMO (ppm)

MUESTRA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
suelo	PLOMO (ppm)	9	1,00	1,00	0,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14,62	2	7,31	15304,21	<0,0001
ESPECIE	14,62	2	7,31	15304,21	<0,0001
Error	2,9E-03	6	4,8E-04		
Total	14,63	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05476
Error: 0,0005 gl: 6

ESPECIE	Medias	n	E.E.
Chenchrus echinatus	1,10	3	0,01 A
Biden bipinata	3,70	3	0,01 B
Distimake aegyptius	3,90	3	0,01 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 16. Análisis de varianza para factor de bioconcentración de Cd y Pb en *Bidens*

bipinnata, Chenchrus echinatus y Distimake aegyptius

FB CADMIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FB CADMIO	9	1,00	1,00	3,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,60	2	0,80	948,68	<0,0001
ESPECIE	1,60	2	0,80	948,68	<0,0001
Error	0,01	6	8,4E-04		
Total	1,61	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07280
Error: 0,0008 gl: 6

ESPECIE	Medias	n	E.E.
<i>Biden bipinnata</i>	0,43	3	0,02 A
<i>Distimake aegyptius</i>	0,96	3	0,02 B
<i>Chenchrus echinatus</i>	1,46	3	0,02 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

FT CADMIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FT CADMIO	9	0,99	0,99	8,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,62	2	0,31	514,50	<0,0001
ESPECIE	0,62	2	0,31	514,50	<0,0001
Error	3,6E-03	6	6,0E-04		
Total	0,62	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06137
Error: 0,0006 gl: 6

ESPECIE	Medias	n	E.E.
<i>Chenchrus echinatus</i>	0,08	3	0,01 A
<i>Distimake aegyptius</i>	0,11	3	0,01 A
<i>Biden bipinnata</i>	0,65	3	0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 17. Análisis de varianza para factor de translocación de Cd y Pb en *Bidens*

bipinnata, Chenchrus echinatus y Distimake aegyptius

FT CADMIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FT CADMIO	9	0,99	0,99	8,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,62	2	0,31	514,50	<0,0001
ESPECIE	0,62	2	0,31	514,50	<0,0001
Error	3,6E-03	6	6,0E-04		
Total	0,62	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06137
Error: 0,0006 gl: 6

ESPECIE	Medias	n	E.E.
Chenchrus echinatus	0,08	3	0,01 A
Distimake aegyptius	0,11	3	0,01 A
Biden bipinata	0,65	3	0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

FT PLOMO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FT PLOMO	9	0,94	0,92	7,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

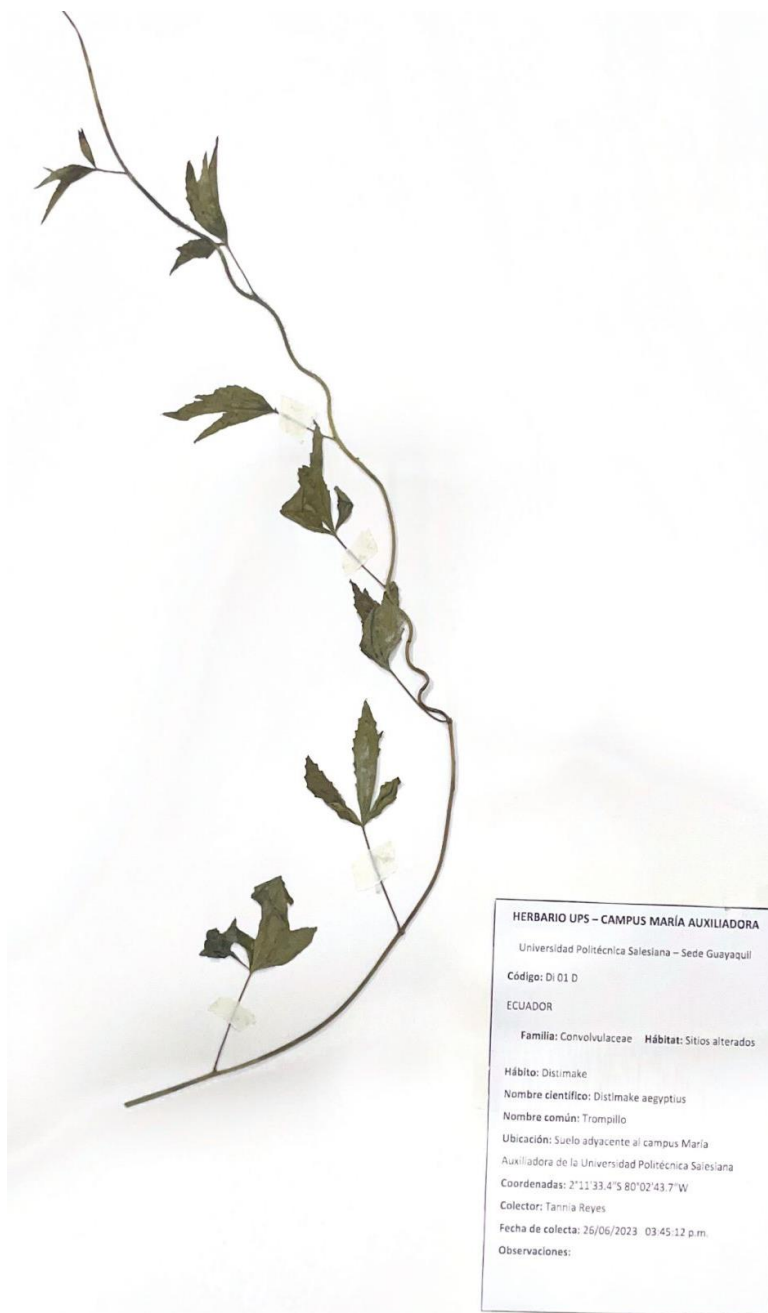
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	2	0,01	46,22	0,0002
ESPECIE	0,02	2	0,01	46,22	0,0002
Error	1,5E-03	6	2,6E-04		
Total	0,03	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04005
Error: 0,0003 gl: 6

ESPECIE	Medias	n	E.E.
Distimake aegyptius	0,18	3	0,01 A
Chenchrus echinatus	0,19	3	0,01 A
Biden bipinata	0,29	3	0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 18. Herborización de la especie *Distimake aegyptius*



Anexo 19. Herborización de la especie *Chenchrus echinatus*



Anexo 20. Herborización de la especie *Bidens bipinnata*

