

## PLANTAS NATIVAS Y SU CAPACIDAD FITOEXTRACTORA DE CADMIO EN CONDICIONES DE VIVERO EN RIO NEGRO-TINGO MARIA

Native plants and their Cadmium Phytoextracting capacity under nursery conditions in Rio Negro-Tingo Maria

Gris Rosario Taype Camarena<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>:Ingeniera Ambiental de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.21, Tingo María. Código ORCID: 0009-0002-7837-7206. Correo electrónico: [gris.taype@unas.edu.pe](mailto:gris.taype@unas.edu.pe)

Recibido: 10/01/2025 Aceptado: 15/01/2025 Publicado: 20/01/2025

### RESUMEN

Se determinó la capacidad fitoextractora de cadmio de las plantas nativas del sector Río-Negro en condiciones de vivero en Tingo María; para esto se realizó un diseño completamente al azar (DCA), que consto de 5 tratamientos T1: *Baltimora recta* L.; T2: *Hyptis mutabilis* (Rich) Briq.; T3: *Colocasia esculenta* L.; T4: *Cyperus rotundus* L. y T5: *Commelina fassiculata* R&P. y 4 repeticiones, se cultivaron en macetas de 4 kg de suelo contaminado por Cd extraído del sector Río-Negro durante 90 días. Los resultados detallan que las plantas nativas estudiadas no mostraron diferencia estadística respecto a la concentración (ppm) de cadmio en la estructura vegetal (parte aérea + parte radicular) a los 90 días de siembra. Sin embargo, se halló una ligera superioridad numérica en T2: *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq = 0,19 ppm, mientras que la menor concentración fue en T5: *Commelina fassiculata* R&P = 0,15 ppm. En el BCF (aéreo) y en el BCF (radicular), todas las especies son clasificadas como “excluseras”. Asimismo, de acuerdo con el factor de traslocación (TF) en suelos contaminados con cadmio, las especies utilizadas no trasladan eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea (TF < 1), por lo que su potencial es el de fitoestabilizar metales en sus raíces.

**Palabras clave:** Plantas nativas, fitoextracción, cadmio.

### ABSTRACT

The cadmium phytoextractive capacity of native plants from the Río-Negro sector was determined under nursery conditions in Tingo María; For this, a completely randomized design (DCA) was carried out, which consisted of 5 treatments T1: *Baltimora recta* L.; T2: *Hyptis mutabilis* (Rich) Briq.; T3: *Colocasia esculenta* L.; T4: *Cyperus rotundus* L. and T5: *Commelina fassiculata* R&P. and 4 repetitions, were grown in 4 kg pots of soil contaminated by Cd extracted from the Río-Negro sector for 90 days. The results detail that the native plants studied showed no statistical difference regarding the concentration (ppm) of cadmium in the plant structure (aerial part + root part) after 90 days of sowing. However, a slight numerical superiority was found in T2: *Hyptis mutabilis* (Rich) Briq = 0.19 ppm, while the lowest concentration was in T5: *Commelina fassiculata* R&P = 0.15 ppm. In the BCF (aerial) and in the BCF (root), all species are classified as “excluder”. Likewise, according to the translocation factor (TF) in soils contaminated with cadmium, the species used do not efficiently transfer heavy metals from the root to the aerial part (TF < 1), so their potential is to phytostabilize metals in its roots.

**Keywords:** Native plants, phytoextraction, cadmium.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados, como el cadmio, supone una amenaza significativa para la salud humana y el medio ambiente. El cadmio es un metal altamente tóxico que puede acumularse en los suelos y ser absorbido por las plantas, ingresando así a la cadena alimentaria y afectando tanto a la flora como a la fauna (Clemens & Ma, 2020). El cadmio es un contaminante particularmente preocupante debido a su alta toxicidad y su capacidad para bioacumularse en los organismos vivos (Clemens & Ma, 2020).

La exposición al cadmio puede causar daños en los riñones, el hígado, los pulmones y el sistema nervioso central (North et al., 2022). En este contexto, la fitorremediación surge como una técnica prometedora para la descontaminación de suelos, que utiliza plantas para extraer y acumular metales pesados (Ali et al., 2013). El sector Río-Negro de Tingo María (Perú) es una región rica en biodiversidad, con una gran variedad de plantas nativas que podrían tener un gran potencial como Fito extractoras. Debido a su adaptación a las condiciones locales, las plantas nativas pueden ser más efectivas en la fitorremediación que las especies exóticas (Pilon-Smits, 2022).

Estudios recientes han demostrado que ciertas especies de plantas autóctonas pueden acumular cantidades significativas de cadmio en sus tejidos, lo que las convierte en candidatas ideales para la fitorremediación (Sarwar et al., 2023). Además, el uso de plantas autóctonas para la fitorremediación puede contribuir a la conservación de la biodiversidad local y a la restauración de ecosistemas degradados (Sarwar et al., 2023). La evaluación de la capacidad Fito remediadora de estas plantas en condiciones controladas de vivero es importante para entender su potencial y desarrollar estrategias efectivas de gestión ambiental (Pilon-Smits, 2022). Además, las condiciones controladas de vivero permiten evaluar detalladamente los factores que influyen en la absorción y acumulación de cadmio, lo que proporciona datos valiosos para futuras aplicaciones en el campo (North et al., 2022).

Finalmente, en este contexto, la investigación evaluó la capacidad fito extractora de cadmio de cinco especies de plantas nativas: *Baltimora recta* L. (Asteraceae), *Commelina fassiculata* R & P. (Araceae), *Colocasia esculenta* L. (Araceae), *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq. (Lamiaceae) y *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae). *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq. de la familia Lamiaceae; *Colocasia esculenta* L., de la familia Araceae; *Cyperus rotundus* L., de la familia Cyperaceae, y *Commelina fassiculata* R & P. de la familia Commelinaceae del sector Río-Negro en Tingo María bajo condiciones de vivero, para contribuir con nuevos conocimientos, ya que no existen investigaciones donde se haya evaluado la capacidad fito extractora de estas especies de plantas nativas en las mismas condiciones de vivero. Con esta investigación, también se busca ofrecer alternativas

sostenibles para la remediación de suelos contaminados en la región.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. El campo experimental

La presente investigación se realizó en vivero, la instalación de vivero estuvo ubicado en Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, cuyas coordenadas geográficas son: latitud Sur 09° 45' 09'', longitud Oeste 75° 57' 00'', altitud de 660 m.s.n.m.y con una precipitación anual de 3500 mm.

### 2.2. Método estadístico

Experimental y se usó el diseño completamente al azar (DCA) se evaluaron los 06 tratamientos establecidos por las plantas nativas en prueba para la fitoextracción de cadmio (Cd), distribuidas en 04 repeticiones. Con este diseño, se elaboró el análisis de variancia (F. tab. = 0,01 y 0,05) para los niveles de cadmio (ppm) en las estructuras vegetales de las plantas nativas en prueba, también para los niveles de cadmio (ppm) en los suelos empleados para el crecimiento de estas plantas nativas.

**Tabla 1**

*Descripción de los tratamientos en estudio*

Clave	Descripción*	Sustrato
T <sub>1</sub>	<i>Baltimora recta</i> L.	Sustrato contaminado por (Cd)
T <sub>2</sub>	<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.)Briq.	Sustrato contaminado por (Cd)
T <sub>3</sub>	<i>Colocasia esculenta</i> L.	Sustrato contaminado por (Cd)
T <sub>4</sub>	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Sustrato contaminado por (Cd)
T <sub>5</sub>	<i>Commelina fassiculata</i> R & P.	Sustrato contaminado por (Cd)
T <sub>6</sub>	ninguna planta (control)	Sustrato contaminado por (Cd)

### 2.3. Metodología en el campo

Primero, se efectuó la inspección del área de estudio, pues permitieron obtener un enfoque verídico de la zona, ya se tenía referencia de que se trataba de una parcela contaminada por cadmio ya que años anteriores, había realizado una tesis donde constataste que se trataba de un suelo contaminado por cadmio. Según Beltran V. (2001), Se seleccionaron las especies de plantas nativas que presentaran las siguientes características: Mucha biomasa, Que estuvieran muy distribuidas en el área y que no muestren sintomatologías de fitotoxicidad (característica esencial para su utilización en la fitorremediación). Luego las muestras fueron identificadas en el laboratorio de Dendrología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva). Se extrajo suelo contaminado de la parcela cacaotera en costales y luego fueron llevados al vivero, donde se homogenizó y se realizó un análisis de suelo para determinar el PH, la materia orgánica y la concentración de Cadmio luego se instalaron 4 kg de suelo en cada maceta. Beltran V. (2001). Se plantaron los cormos de la especie *Colocasia esculenta* L., las otras especies de plantas nativas que no presentaron cormos se cultivaron por esquejes. Pasados 90 días de haberlas sembrado se extrajeron las plantas y se sacaron las muestras de suelo de cada maceta para

llevarlas a laboratorio para realizarle el análisis de su concentración de cadmio. Las plantas fueron lavadas de manera cuidadosa tratando de no generales algún daño en sus partes. Después fueron depositadas en recipientes con agua para quitar los residuos de tierra. A continuación, fueron lavadas con agua, limpiando delicadamente para no romper la planta y se enjuagaron dos veces con agua destilada. Cuando ya estuvieron bien enjuagadas fueron secadas colgándolas en la cuerda y luego fueron colocadas en bolsas de papel y fueron rotuladas las muestras con su código. Fueron llevadas a laboratorio sus partes aéreas (tallos y hojas) y sus partes radiculares (raíz), al igual que las muestras de suelo de cada tratamiento para que le realicen sus correspondientes análisis de cadmio, fueron analizadas por el laboratorio LASA Tingo María. Finalmente se determinó si son funcionales en el proceso de fitoextracción.

#### 2.4. Técnicas de recolección de datos

##### a) Taxonomía de las plantas nativas seleccionadas

Las muestras fueron llevadas para su identificación correspondiente al M.Sc. Warren Ríos García (Profesor de Dendrología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva).

##### b) Capacidad de fitoextracción de cadmio de las plantas nativas

Para determinar la capacidad fitoextractora de cadmio por las plantas nativas se les tuvo que clasificar de acuerdo con los factores de bioconcentración (BCF) y de translocación (TF). Los factores de bioacumulación y translocación mostraron si las especies de plantas nativas se les podría considerar como hiperacumuladoras, acumuladoras, tolerantes o exclusoras (Diez, 2008).

##### c) Factor de bioconcentración (BCF)

El cálculo del factor de bioconcentración (BCF) se hizo para apreciar la relación entre los residuos químicos en las plantas y las concentraciones medidas en el medio donde viven (Mendieta, 2014). Los BCF se calcularon según la siguiente ecuación.

$$BCF_{a\acute{e}rea} = \frac{Ca}{Cs} \dots\dots\dots(1)$$

$$BCF_{ra\acute{i}z} = \frac{Cr}{Cs} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$BCF_{a\acute{e}rea}$  = Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.

$BCF_{ra\acute{i}z}$  = Factor de bioconcentración en el rizoma de la planta.

Ca = Concentración de cadmio en la parte aérea del vegetal (ppm)

Cr = Concentración de cadmio el rizoma de la planta (ppm).

Cs = Concentración de cadmio en el suelo (ppm).

Consecutivamente, se efectuó la clasificación de la planta con forme a los valores obtenidos del BCF, como es apreciable a continuación (Medina & Montano, 2014; Avelino, 2013):

- BCF < 1 : Planta exclusiva
- 1 < BCF < 10: Planta acumuladora
- BCF > 10: Planta hiperacumuladora

##### d) Factor de translocación (TF)

El factor de translocación se consiguió efectuando el cálculo de acuerdo con la siguiente formula:

$$TF = \frac{Ca}{Cr}$$

Donde:

TF = Factor de translocación.

Ca = Concentración de cadmio en la parte aérea de la planta (ppm).

Cr = Concentración de cadmio en el rizoma de la planta (ppm).

Luego, se efectuó la clasificación de acuerdo (Deng et al., 2004; Yoon et al., 2006):

- TF < 1: Planta exclusiva.
- TF > 1: Planta acumulador.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Taxonomía de las plantas nativas seleccionadas

Tabla 2

*Taxonomía de las plantas nativas seleccionadas para usarlas como tratamientos*

<b>T<sub>1</sub></b>	: <b><i>Baltimora recta L.</i></b>
Nombre común	: Baltimora
DIVISION	: MAGNOLIOPHYTA
CLASE	: MAGNOLIOPSIDA
SUB-CLASE	: Asterales
ORDEN	: Asterales
FAMILIA	: Asteraceae
GENERO	: Hyptis
ESPECIE	: mutabilis
<b>T<sub>2</sub></b>	: <b><i>Hyptis mutabilis(Rich.)Briq</i></b>
Nombre común	: Yerbita
DIVISION	: MAGNOLIOPHYTA
CLASE	: MAGNOLIOPSIDA
SUB-CLASE	: Asteridae
ORDEN	: Lamiales
FAMILIA	: Lamiaceae
GENERO	: Hyptis
ESPECIE	: mutabilis
<b>T<sub>3</sub></b>	: <b><i>Colocasia esculenta L.</i></b>
Nombre común	: Pituquilla
DIVISION	: MAGNOLIOPHYTA
CLASE	: LILIOPSIDA
SUB-CLASE	: Arceidiae
ORDEN	: Arceales
FAMILIA	: Araceae
GENERO	: Colocosis
ESPECIE	: esculenta
<b>T<sub>4</sub></b>	: <b><i>Cyperus rotundus L.</i></b>
Nombre común	: coquito
DIVISION	: MAGNOLIOPHYTA
CLASE	: LILIOPSIDA
SUB-CLASE	: Commelinidae
ORDEN	: Cyperales
FAMILIA	: Cyperaceae
GENERO	: Cyperus
ESPECIE	: rotundus
<b>T<sub>5</sub></b>	: <b><i>Commelina fasciculata R &amp; P.</i></b>
Nombre común	: pasto corrugado
DIVISION	: MAGNOLIOPHYTA
CLASE	: LILIOPSIDA
SUB-CLASE	: Commelinidae
ORDEN	: Commelinales
FAMILIA	: Commelinaceae
GENERO	: Cyperus
ESPECIE	: rotundus

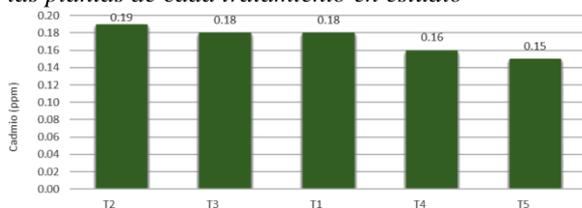
### 3.2. Capacidad de fitoextracción de cadmio de las plantas nativas en estudio

#### 3.2.1. Efecto de las plantas nativas en la concentración de cadmio en la estructura vegetal

La prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) corrobora que, a los 90 días después de la siembra, no existirían diferencias significativas, dado que hay homogeneidad en todos los grupos, aun cuando existe diferencia aritmética de las concentraciones por cada tratamiento. Para la estructura de la planta (raíz + tallo) de las especies en estudio, *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq manifestó los mayores valores de concentración (T2 = 0,19 ppm), continuado por *Colocasia esculenta* y *Baltimora recta* L (T3 y T1 = 0,18 ppm) y por *Cyperus rotundus* L. (T4 = 0,16 ppm); por último, se tuvo menor concentración en *Commelina fassiculata* R &P. (T5 = 0,15 ppm) (Figura 1).

**Figura 1**

*Concentración de cadmio (ppm) en las estructuras de las plantas de cada tratamiento en estudio*



Leyenda:

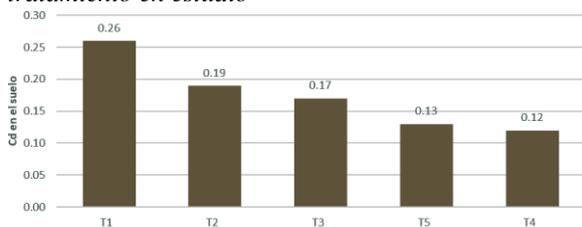
- T1: *Baltimora recta* L
- T2: *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq
- T3: *Colocasia esculenta*
- T4: *Cyperus rotundus* L
- T5: *Commelina fassiculata* R &P.

#### 3.2.2. Efecto de las plantas nativas en la concentración de cadmio en los suelos en estudio

Según la prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) que, a los 90 días posteriores de la siembra, se presentaron altas diferencias significativas, por cuanto existen 04 subgrupos homogéneos; se puede evidenciar en la desigualdad de las concentraciones por cada tratamiento en los suelos en estudio.

**Figura 2**

*Concentración de cadmio (ppm) en el suelo de cada tratamiento en estudio*



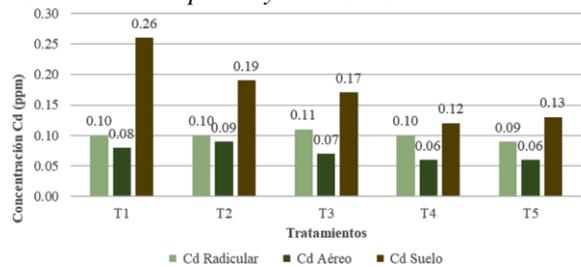
Leyenda:

- T1: *Baltimora recta* L.
- T2: *Hyptis mutabilis*(Rich.)Briq
- T3: *Colocasia esculenta* L
- T4: *Cyperus rotundus* L.
- T5: *Commelina fassiculata* R &P.

El promedio más alto de concentración de cadmio se registró en el suelo del tratamiento T1, con 0,26 ppm, mientras que el valor más bajo fue de 0,12 ppm en el suelo del tratamiento T4. (Figura 2).

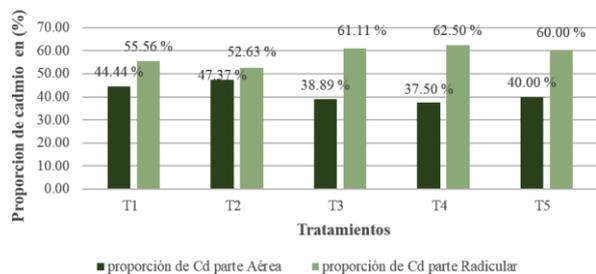
**Figura 3**

*Concentración de cadmio (ppm) por tratamiento en la estructura de la planta y en el suelo*



**Figura 4**

*Proporción de cadmio en (%) en la parte aérea y radicular de las plantas por tratamiento.*



### 3.3. Factores de Bioconcentración y de traslocación de Cadmio de las plantas nativas en estudio

#### 3.3.1. Factores de Bioconcentración (BCF)

Los valores usados para determinar el (BCF) fueron los niveles de cadmio en el suelo y en la parte aérea y radicular de las plantas nativas de cada tratamiento. En ese sentido, la Tabla 3 detalla que el pasto *Cyperus rotundus* L. presento el mayor valor de BCF aéreo (0,50) y BCF radicular (0,83); por el contrario, en *Baltimora recta* L. se obtuvo el valor más bajo de BCF aérea (0,31) y BCF radicular (0,38). Todos los tratamientos se definen como “exclusora”, lo que indicaría que no tienen una concentración efectiva en la parte aérea ni en la parte radicular.

**Tabla 3**  
*Factor de Bioconcentración (BCF) en la parte aérea y radicular y su clasificación de cada tratamiento*

Tratamiento	Concentración de cd			BCF aérea	Clasificación BCF (aérea)	BCF radicular	Clasificación BCF (raíz)
	Radicular	Aéreo	Suelo				
T1	0.10	0.08	0.26	0.31	Exclusora	0.38	Exclusora
T2	0.10	0.09	0.19	0.47	Exclusora	0.53	Exclusora
T3	0.11	0.07	0.17	0.41	Exclusora	0.65	Exclusora
T4	0.10	0.06	0.12	0.50	Exclusora	0.83	Exclusora
T5	0.09	0.06	0.13	0.46	Exclusora	0.69	Exclusora

Donde:

- T1: *Baltimora recta* L  
 T2: *Hyptis mutabilis*(Rich.)Briq  
 T3: *Colocasia esculenta*  
 T4: *Cyperus rotundus* L  
 T5: *COM melina fassiculata* R & P

### 3.3.2. Factor de Traslocación (TF)

El mayor TF se encontró al utilizar *Hyptis mutabilis* (Rich)Briq (T2 = 0,90), mientras que el valor más bajo fue con *Cyperus rotundus* L (T4: = 0,60). Todas las especies se encuentran en la clasificación de “exclusora” (Tabla 5).

**Tabla 4**  
*Factor de Traslocación (TF) y su clasificación en cada tratamiento en estudio*

Tratamiento	Descripción	Concentración de Cd (ppm)		TF	Clasificación
		Aérea	Radicular		
T1	<i>Baltimora recta</i> L	0.08	0.10	0.80	Exclusora
T2	<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.)Briq	0.09	0.10	0.90	Exclusora
T3	<i>Colocasia esculenta</i>	0.07	0.11	0.64	Exclusora
T4	<i>Cyperus rotundus</i> L	0.06	0.10	0.60	Exclusora
T5	<i>Commelina fassiculata</i> R & P	0.06	0.09	0.67	Exclusora

Donde:

- T1: *Baltimora recta* L  
 T2: *Hyptis mutabilis*(Rich.)Briq  
 T3: *Hyptis mutabilis*(Rich.)Briq  
 T4: *Cyperus rotundus* L  
 T5: *Commelina fassiculata* R & P

Según lo mencionado por Martelli et al. (2024), si el factor de translocación (TF) es mayor a 1 ( $TF > 1$ ), significa que la planta transfiere de manera eficiente los metales pesados desde las raíces hacia la parte aérea, lo que indica su potencial para hiperacumular metales en esa zona. En cambio, si el TF es menor a 1 ( $TF < 1$ ), la planta no realiza una transferencia eficiente de los metales pesados hacia la parte aérea, lo que sugiere que su capacidad radica en la fitoestabilización de metales en sus raíces, como sería el caso de las plantas nativas estudiadas.

## IV. DISCUSIÓN

Las bajas concentraciones de cadmio en las plantas en comparación con los suelos (figura 3), este fenómeno puede explicarse por la baja biodisponibilidad de cadmio en el sustrato inicial, el cual registró un promedio de 2,24 ppm. El Ministerio Nacional del Ambiente según Condezo y Huaraca (2018), este nivel excede los límites recomendados para la producción agrícola, ya que los suelos agrícolas no deben superar

los 1,4 ppm. No obstante, cuando la concentración de cadmio en el sustrato aumenta, ya sea por causas naturales o antropogénicas, el metal se vuelve más biodisponible para las plantas.

Barraza et al. (2017) y Argüello et al. (2019), indican que, en suelos con elevados niveles de cadmio, este es fácilmente transferido a las plantas, lo que genera su bioacumulación en diversas partes de la misma. Oc et al. (2018) y Meter et al. (2019) afirman que especies como *Theobroma cacao* presentan mayores concentraciones de cadmio en sus estructuras de la planta, ya que este metal es absorbido, traslocado y acumulado debido a su similitud electroquímica con los nutrientes esenciales de la planta.

Según la Figura 2, Estos valores cumplen con lo establecido por el Ministerio Nacional del Ambiente (MINAM) según Condezo y Huaraca (2018), en sus Estándares de Calidad Ambiental para Suelos (ECA's) agrícolas, que especifican que los niveles no deben superar 1,4 mg.kg-1.

Los suelos estudiados antes de aplicar los tratamientos no eran adecuados para la producción de cacao ya que como análisis inicial de suelo presentaba 2.24 ppm de cadmio disponible, especialmente si se tiene en cuenta lo señalado por Meter et al. (2019), quienes advierten sobre la presencia de cadmio en las exportaciones de América Latina. Ellos recomiendan evaluar los niveles de cadmio tanto en los suelos de los cultivos como en los granos de cacao. En su investigación, concluyen que, si el contenido de cadmio en los granos supera los 0,5 mg/kg, es necesario investigar el origen del cadmio en los cultivos y tomar las medidas correctivas correspondientes.

Entre los factores que han favorecido la presencia de cadmio se encuentran el uso intensivo de la tierra, la acidez del suelo, los niveles de materia orgánica y la aplicación de fertilizantes fosfatados en ciertos cultivos. En este sentido, Villanueva (2019) señala que el aumento gradual de cadmio en algunos suelos agrícolas podría estar relacionado con la fertilización fosfatada prolongada. De igual manera, Condezo y Huaraca (2018) y López et al. (2021), mencionan que, en suelos ácidos, el cadmio se intercambia con mayor facilidad, volviéndose más disponible para las plantas. En el caso de los suelos estudiados, estos factores parecen ser relevantes, ya que el área ha sido explotada intensivamente, lo que ha empobrecido el suelo y facilitado la acumulación de cadmio.

Los resultados son consistentes con lo señalado por Zhang et al. (2019), Núñez (2022) y Bárcena (2023), quienes explican que ciertos factores edáficos y de cultivo influyen en la absorción de cadmio por las plantas. Según el autor, la absorción de cadmio aumenta en suelos ácidos debido a la disminución del pH, y también se incrementa con la salinidad elevada,

mayores concentraciones de cadmio, y la falta de zinc y manganeso.

De acuerdo con la Tabla 3 y 4. Según Márquez et al. (2020) y Rivera et al., (2024), las plantas que presentan valores de TF y BCF menores a uno no son adecuadas para la fitoextracción. Asimismo, destacan la importancia de que la acumulación de metales se produzca en la parte aérea de la planta, ya que esto facilita la cosecha y la extracción del metal concentrado en la biomasa.

## V. CONCLUSIONES

Las cinco especies de plantas nativas que se seleccionaron en campo para estudiar su capacidad fitoextractora en condiciones de vivero fueron: (T1: *Baltimora recta* L.; T2: *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq.; T3: *Colocasia esculenta* L.; T4: *Cyperus rotundus* L. y T5: *Commelina fassiculata* R &P.)

Las plantas nativas no mostraron diferencia estadística respecto a la concentración (ppm) de cadmio en la estructura vegetal (parte aérea + parte radicular) a los 90 días de siembra. Sin embargo, se halló una ligera superioridad numérica en la *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq (T2 = 0,19 ppm), mientras que la menor concentración fue en *Commelina fassiculata* R &P. (T5 = 0,15 ppm). La concentración de cadmio en el suelo presentó diferencias estadísticas en las diferentes especies en estudio. El tratamiento (T6) Control tuvo una concentración de concentración (0,28 ppm). En cuanto a las especies, *Baltimora recta* L (T1) presentó mayor nivel que las demás (0,26 ppm), mientras que el menor nivel estuvo en *Cyperus rotundus* L (T4 = 0,12 ppm). Se demostró que el uso de estas especies redujo la concentración de cadmio en el suelo.

En el BCF (aéreo) y en el BCF (radicular), todas las especies son clasificadas como “excluseras”, demostrando que no tienen demasiada eficiencia para concentrar cadmio en la parte aérea ni radicular. Asimismo, de acuerdo con el factor de traslocación (TF) en suelos contaminados con cadmio, las especies utilizadas no trasladan eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea (TF < 1), por lo que su potencial es el de fitoestabilizar metales en sus raíces.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argüello, D., Chávez, E., Laurysen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E. & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment*, 649, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>
- Ali, H., Khan, E. & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals--concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J. & Maurice, L. (2017). *Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador*. *Environmental Pollution*, 229, 950–963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Condezo Nuñez, S. & Huaraca Mezones, C. V. (2018). *Cuantificación de plomo, cadmio y arsénico en granos de cacao (Theobroma cacao L.) y café (Coffea arábica L.) de la zona de Jaen, Cajamarca durante el periodo de febrero – julio 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Norbert Wiener]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13053/2571>
- Clemens, S., & Ma, LQ (2020). Genes and processes relevant to heavy metal hyperaccumulation in plants. *Plant Physiology*, 182(2), 698-712
- López, M., Jaimez, R. & Orozco, L. (2021). *El cadmio en el cultivo de cacao*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. [https://cefaecuador.org/wp-content/uploads/2022/05/Guia\\_1.pdf](https://cefaecuador.org/wp-content/uploads/2022/05/Guia_1.pdf)
- North, H., Amies, A., Dymond, J., Belliss, S., Pairman, D., Drewry, J., Schindler, J. & Shepherd, J. (2022). Mapping bare ground in New Zealand hill-country agriculture and forestry for soil erosion risk assessment: An automated satellite remote-sensing method. *Journal of Environmental Management*, 301(113812), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113812>
- Márquez-Reyes, J. M., Valdés González, A., García Gómez, C., Rodríguez-Fuentes, H., Gamboa-Delgado, J. & Luna-Olivera, H. (2020). *Evaluación de los efectos sinérgicos de cromo y plomo durante el proceso de fitorremediación con berro (Nasturtium officinale) en un humedal artificial*. *Biotecnia*, 22(2), 171–178. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i2.1259>
- Martelli, A., Vanina, T., Belén, M. & Rubilar, T. (2024). *Fitorremediación de efluentes acuícolas mediante el uso de seis microalgas marinas: aportes de sustentabilidad en la industria acuícola del erizo de mar en Argentina*. *Revista de Biología Tropical*, 72(S1), 1-18. <http://dx.doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v72is1.58979>
- Meter, A., Atkinson, R. & Laliberte, B. (2019). *Cadmium in cocoa in Latin America and the Caribbean: Research analysis and potential mitigation solutions*. Bioversity-International. <https://hdl.handle.net/10568/102354>

- Oc, Llatance W., Gonza Saavedra, C., Guzmán Castillo, W. & Pariente Mondragón, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33(1), 63–75. <https://doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>
- Pilon-Smits, E. (2022). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56(1), 15-39. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>
- Rivera, L., Rivera, H., & Rodríguez, I. (2024). *Estudio Descriptivo del potencial fitorremediador de azolla, Lemna Minor y Eichhornia Crassipes en ambientes contaminados*. Ciencia Latina: Revista Científica Multidisciplinar, 8(3), 10303-10314. [http://dx.doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i3.12182](http://dx.doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12182)
- Sarwar, N., Imran, M., Alamri, S. A. & Al-Qurainy, F. (2023). Phytoremediation of heavy metals: recent advances and future prospects. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), 1-16.
- Vega-Jara, L. (2021). *Aplicación de métodos físico-químicos y biológicos en suelos contaminados con cadmio y plomo* (1ª ed.). Liliana Vega-Jara
- Villanueva Jara, P. K. (2019). *Relación entre las características del suelo y la concentración de cadmio en los tejidos de la planta de cacao (Theobroma cacao L.) en Pumahuasi, Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/5386>
- Zhang, Q., Yu, R., Fu, S., Wu, Z., Chen, H., & Liu, H. (2019). Spatial heterogeneity of heavy metal contamination in soils and plants in Hefei, China. *Scientific Reports*, 9(1), 1–8. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-36582-y>