

Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú

Bioaccumulation of cadmium in cocoa (*Theobroma cacao*) in the Native Community of Pakun, Peru

Wilber Oc Llatance¹, César Julián Gonza Saavedra¹, Wagner Guzmán Castillo²
y Elí Pariente Mondragón^{2*}

Resumen

El cadmio es uno de los metales pesados más tóxicos, pequeñas concentraciones podrían provocar grandes problemas al ambiente y a la salud del ser humano; sin embargo existen técnicas biológicas de saneamiento para remediar suelos contaminados con cadmio y demás metales pesados, destacando entre ellas la fitorremediación. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar siete especies vegetales (*Pouteria caimito* (Ruiz & Pav.) Radlk., *Matisia cordata* Bonpl., *Malvaviscus* sp., *Vochysia* sp., *Carludovica palmata* Ruiz & Pav., *Attalea* sp. y *Theobroma cacao* L.) que acumulen cadmio total de forma natural, en una parcela agrícola de la Comunidad Nativa de Pakun, Distrito de Imaza (Dep. Amazonas, Perú). Se recolectaron muestras de suelo como estudio preliminar, para constatar la presencia del metal, posteriormente se realizó un reconocimiento de todas las especies arbustivas y arbóreas silvestres, seleccionando aquellas que no presenten enrollamiento foliar y clorosis. Se cuantificó el contenido de cadmio total en hoja, tallo y raíz mediante espectrofotometría de absorción atómica. *Carludovica palmata*, presentó la mayor concentración de Cd total, principalmente en la raíz (0.34 mg.kg⁻¹), lo que hace considerarla como una especie potencialmente fitorremediadora.

Palabras clave: metales pesados, cadmio, potencial fitorremediador.

¹ Ingeniero Ambiental, consultor independiente, Perú.

² Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), Calle Higos Urco N° 342-350-356, Chachapoyas, Amazonas, Perú.

* Autor de Correspondencia: eli.pariante@untrm.edu.pe

Abstract

Cadmium is one of the most toxic heavy metals, small concentrations could cause great problems to the environment and the health of the human being; however, there are biological sanitation techniques to remedy soils contaminated with cadmium and other heavy metals, including phytoremediation. The objective of this research was to evaluate seven plant species (*Pouteria caimito* (Ruiz & Pav.) Radlk., *Matisia cordata* Bonpl., *Malvaviscus* sp., *Vochysia* sp., *Carludovica palmata* Ruiz & Pav., *Attalea* sp. and *Theobroma cacao* L.) That naturally accumulate total cadmium in an agricultural plot of the Native Community of Pakun, district of Imaza (Dep. Amazonas, Peru). Soil samples were collected as a preliminary study, to verify the presence of the metal, later a recognition of all the shrub and wild arboreal species was made, selecting those that do not present foliar curl and chlorosis. The content of total cadmium in leaf, stem and root was quantified by atomic absorption spectrophotometry. *Carludovica palmata*, presented the highest concentration of total Cd, mainly in the root (0.34 mg.kg⁻¹), which makes consider it as a potentially phytoremediating species.

Key words: heavy metals, cadmium, potential fitorremediador.

Introducción

El suelo por condiciones naturales presenta una gran variedad de metales, formando parte de los minerales o provenientes de rocas (Martínez y Rivero 2005), pueden encontrarse en forma de óxidos, hidróxidos y aglomeraciones con otros elementos (Méndez *et al.* 2009); clasificándose en esenciales y no esenciales (Batista y Sánchez 2009). Los metales pesados también pueden llegar al suelo de manera antropogénica a través de efluentes mineros, fertilizantes, residuos sólidos, entre otros (Jing *et al.* 2007; Galán y Romero 2008). Metales con mayor presencia e impacto en el suelo son: cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cobre (Cu), que aún en pequeñas concentraciones son tóxicos (Carpena y Bernal 2007).

El cadmio (Cd) es un metal pesado no esencial para las plantas, cuya presencia puede deberse al uso de fertilizantes fosfatados y como subproducto de la explotación de zinc y cobre (García *et al.* 2012; Martínez *et al.* 2013); puede ser absorbido y acumulado en raíces, tallos, hojas, frutos y semillas (Insuasty *et al.* 2006, Herrera 2011); cuya concentración depende de la edad y especie (Méndez *et al.* 2009). Afecta el crecimiento, la fotosíntesis (Lara *et al.* 2011) y reduce las concentraciones de nitratos, gene-

rando desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto y clorosis (Rodríguez-Serrano *et al.* 2008).

En el cacao, el Cd se acumula en las semillas (Huamaní-Yupanqui *et al.* 2015), tal como lo demuestran estudios realizados en Venezuela y Perú (Arévalo-Gardini *et al.* 2016; Lanza *et al.* 2016). La ingesta directa o indirecta (cereales, chocolates, gomas de mascar y confites) de Cd (Dahiya *et al.* 2005; Duran *et al.* 2009), produce daños al riñón, hígado, pulmón, páncreas, testículos y hueso (Martínez *et al.* 2013) ocasionando deficiencias renales, osteoporosis, hipertensión arterial, diabetes, enfisema pulmonar y algunos cánceres de próstata, pulmón, vejiga y páncreas (Satarug *et al.* 2010; Herrera 2011).

Por otro lado, existen plantas que crecen en áreas contaminadas; y que naturalmente han desarrollado la capacidad de absorber éste contaminante (Rodríguez-Serrano *et al.* 2008). Son denominadas metalofitas y tienen mecanismos para tolerar suelos altamente contaminados (Ginocchio y Baker 2004; Fernández-Fernández *et al.* 2008); dentro de este grupo destacan las hiper-acumuladoras (González *et al.* 2008; Delgadillo-López y González-Ramírez 2011) que tienen la capacidad de

acumular altas concentraciones en su sistema (González-Mendoza y Zapata-Pérez 2008). El objetivo del presente estudio fue identificar especies leñosas con capacidad de bioacumular cadmio en suelos productores de cacao y, evaluar las concentraciones acumuladas en sus estructuras (raíz, tallo y hojas).

Materiales y Métodos

Área de estudio

La Comunidad Nativa de Pakun, se ubica en el Anexo de Chiriaco, Distrito de Imaza, Provincia de Bagua, Departamento de Amazonas. Se encuentra a orillas del río Chiriaco a 297 msnm, con una población de 250 habitantes, cuya lengua oficial es el Awajun, sustentada por sus tradiciones, costumbres y conocimientos. Se dedica principalmente al cultivo de cacao. Geográficamente pertenece a la zona 17M, en las coordenadas UTM 800976 Este, y 9427707 Norte (ver Figura 1) (Comunidad Nativa de Pakun 2017).

Selección del sitio de muestreo

En la selección y muestreo del sitio se siguió el criterio utilizado por Ochoa *et al.* (2011), “que el área seleccionada tuviera comunidades vegetales presentes”; para ello se realizó el reconocimiento visual del área de estudio, al mismo tiempo corroborar cumplir el criterio antes mencionado. Luego se procedió a delimitar el área con la ayuda de un GPS. Como parte de este reconocimiento se colectaron muestras de suelo para determinar la concentración de cadmio total en las muestras (Cuadro 1). El análisis de concentraciones de cadmio total se realizó en el Laboratorio de Investigación y Certificaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería (LABICER FC-UNI). Se identificaron 1.9 ha con contenido representativo de cadmio en el suelo, con cultivo de cacao.

Reconocimiento y selección de las especies vegetales

Se recorrió la parcela, caracterizando (fisiológicamente y morfológicamente) todas las

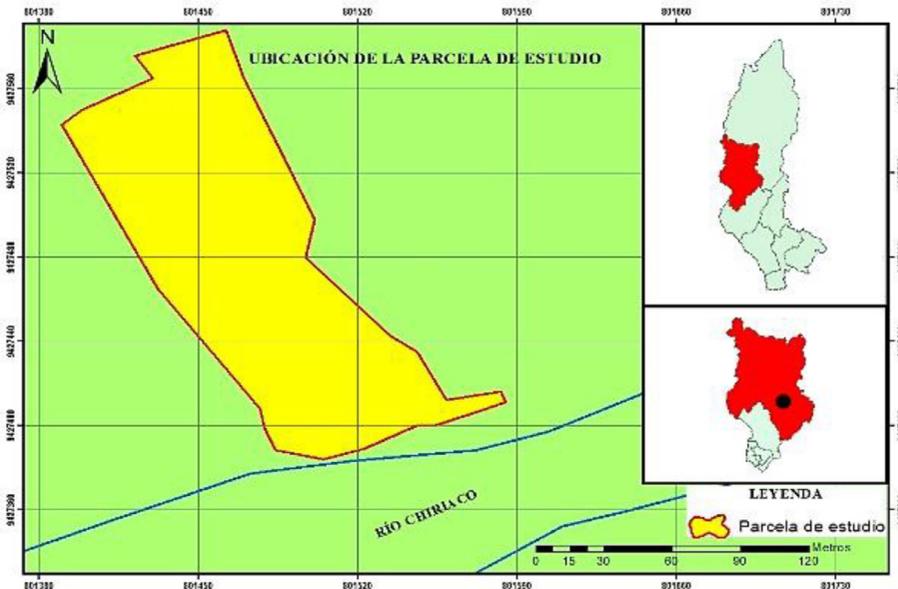


Figura 1. Ubicación del área de estudio, Comunidad Nativa de Pakun, Anexo Chiriaco, Distrito Imaza, Provincia Bagua.

Muestra de suelo	Concentración de cadmio (mg.kg ⁻¹)
Inundable (SI)	0.043
Semi-inundable (SSI)	0.111
No inundable (SSC)	<0.008

Cuadro 1. Concentración de cadmio en muestras de suelo

especies vegetales (arbustos y árboles) presentes; 1) para el reconocimiento se consideró especies ≥ 2.5 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho), se tomaron datos como nombre común, diámetro de la copa, densidad de la copa, forma de la copa, y edad del árbol con la ayuda del propietario de la parcela, 2) para la selección de especies aptas, se consideraron aquellas especies que no presenten enrollamiento foliar y clorosis.

Colecta del material

Se realizó con la ayuda de una tijera telescópica y pala, colectando mínimo tres muestras (raíz = 10 cm, tallo = 1×5×15 cm, hoja y fruto) por cada especie. Se colocaron dentro de papel periódico, cada una con su código respectivo. Las muestras fueron prensadas in situ, usando una prensa de madera y cartón, luego preservados con alcohol de 96°, depositados en bolsa de polietileno y trasladados para su posterior secado al laboratorio de investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. El proceso de secado se realizó en la estufa durante 7 días a 30 °C. Paralelamente a la colecta, se georreferenciaron las especies para la elaboración del mapa (ver Figura 2)

Identificación de nombres científicos

La identificación de las muestras botánicas se realizó con ayuda bibliográfica especializada entre ellas Brako y Zurucchi (1993); Pennington *et al.* (2004); Pennington y Sarukhan (1998), entre otras fuentes de literatura y tesis. Cada especie arbórea fue identificada a nivel de familia, género, especie o morfoespecie. Es

importante mencionar que la identificación fue respaldada por especialistas del Herbario Forestal MOL de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). La colección contó con tres ejemplares botánicos por cada especie recolectada y se realizó un depósito de los ejemplares en el laboratorio LABISAG de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – UNTRM-A

Determinación de la concentración de cadmio

Previamente al análisis de cadmio total, se realizó la selección de especies, solo fueron consideradas para su respectivo análisis de concentraciones de cadmio, aquellas especies que no presentaron deficiencias nutricionales, enrollamiento foliar y clorosis. En ese contexto solo seis especies cumplieron con los requerimientos (Cuadro 2). Las muestras fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería (LABICER), para su respectivo análisis de concentración de cadmio, usando el método AOAC 999.11.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos a nivel de laboratorio se ingresaron al software Excel y SPSS, para identificar la especie con mayor potencial de acumulación de cadmio, realizando dos análisis estadísticos.

En el análisis descriptivo a través de Microsoft Excel, se ingresaron todos los datos de laboratorio para cada muestra botánica, con la finalidad de determinar cuál de las especies vegetales colectadas tiene mayor concentración de cadmio total y que muestra botáni-

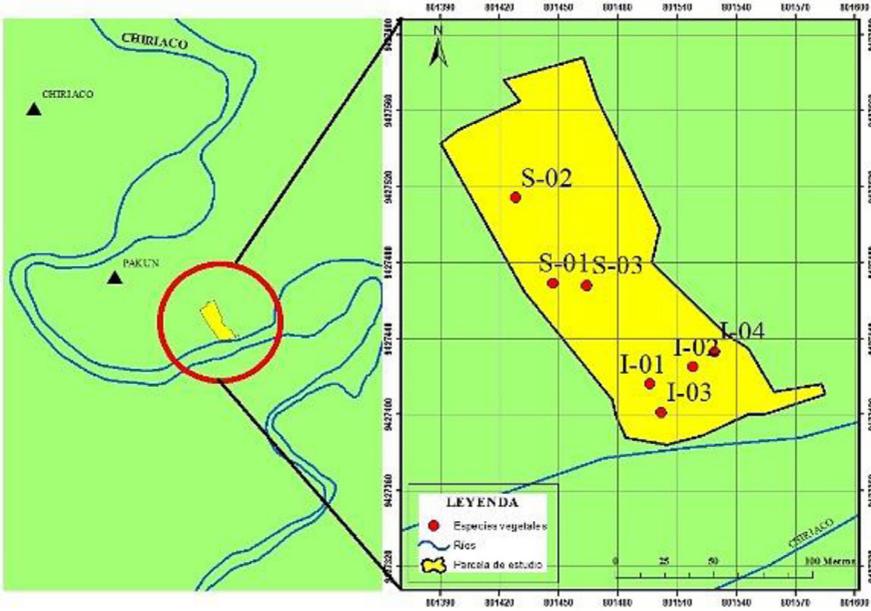


Figura 2. Mapa de colecta de muestras de especies vegetales.

ca presenta mayor contenido de cadmio total, posteriormente se comparó los valores promedio de cada especie.

Se agrupó las especies vegetales en cuatro categorías: forestal, frutal, palmera y agrícola; para evaluar la relación de la concentración de cadmio mediante la prueba Tukey; se evaluó el grado de homogeneidad de cada una de las especies vegetales a través de la prueba Duncan, para verificar si existe una diferencia significativa entre especies, ambas pruebas fueron realizadas con un nivel de confianza del 95% y un error de 0,80.

Resultados

La concentración promedio de cadmio total en el suelo es 0.054 mg.kg^{-1} (Cuadro 1). La muestra de suelo sin concentración de Cd fue colectada en la parcela que no presentó producción de cacao, ya que es dedicada a la producción de árboles forestales; la muestra de suelo con mayor concentración de Cd fue colectada en la parcela semi-inundable, es de-

cir donde el agua llega en menor cantidad pero queda más tiempo retenida.

Evaluación y selección de especies vegetales

De acuerdo a las características morfológicas y fisiológicas se seleccionaron siete especies vegetales (Cuadro 2). En la parcela inundable sólo se seleccionaron el *Pouteria caimito* (Ruiz & Pav.) Radlk., *Matisia cordata* Bonpl. y *Malvaviscus* sp. ya que fueron las únicas que no presentaron enrollamiento foliar ni clorosis; en la parcela semi-inundable se colectaron *Vochysia* sp., *Carludovica palmata* Ruiz & Pav., *Attalea* sp. y *Theobroma cacao* L., en esta parcela se colectó más especies ya que presentaba la mayor concentración de Cd en el suelo.

Identificación a nivel de especies o géneros

Solo para algunas muestras colectadas se logró una identificación a nivel de especie, como se aprecia en el Cuadro 3. Sin embargo, para todas las muestras se logró una identificación positiva por lo menos a nivel de género. Solamente tres muestras, de la siete que estaba

Nombre común	Nombre científico	Familia	Características morfológicas					Características fisiológicas		
			Altura (m)	DAP (m)	Diámetro de la copa (m)	Densidad de la copa	Forma de la copa	Edad (años)	Enrrollamiento foliar	Clorosis
"Caimito"	<i>Pouteria caimito</i>	Sapotaceae	10	0.65	5	Semidenso	irregular	15	Ausente	Ausente
"Sapote"	<i>Matisia cordata</i>	Malvaceae	7	0.60	5	Semidenso	irregular	8	Ausente	Ausente
"Ortiga"	<i>Malvaviscus</i> sp.	Malvaceae	4	0.30	3	Semidenso	irregular	3	Ausente	Ausente
"Chope"	<i>Vochysia</i> sp.	Vochysiaceae	5.5	0.55	4	Semidenso	irregular	8	Ausente	Ausente
"Pumpunaje"	<i>Carludovica palmata</i>	Cyclanthaceae	2	0.33	3.5	Denso	irregular	2	Ausente	Ausente
"Yarina"	<i>Attalea</i> sp.	Arecaceae	2.5	0.35	4	Denso	irregular	4	Ausente	Ausente
"Cacao"	<i>Theobroma cacao</i>	Malvaceae	3.5	0.40	3.5	Semidenso	irregular	5	Ausente	Ausente

Cuadro 2. Características morfológicas y fisiológicas de especies vegetales colectadas

compuesto el material en total, no fueron identificadas a nivel de especies.

Concentración de cadmio total de las especies vegetales

Las concentraciones de Cd en las estructuras (hoja, raíz y tallo) de las especies que cumplieron con las características fisiológicas, fueron de aquellas de mayor biomasa aprovechable, en consecuencia potenciales, para un mejor manejo en un sistema fitorremediador. No obstante, cabe mencionar *Theobroma cacao* fue la única de todas las especies evaluadas que presento fruto en el momento de su colecta, por lo que esta estructura solo fue analizada para esta especie. Del total de especies, solo las especies *Carludovica cordata* y *Theobroma cacao* presentaron mayor acumulación de Cd; a comparación de las otras cinco especies analizadas (Figura 3 y 4).

Especie de mayor acumulación de cadmio

Attlea sp., tuvo valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de 0.087, 0.380 y <0.008 respectivamente, *Carludovica palmata*, valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de 0.228, 0.335 y 0.093 respectivamente, *Malvaviscus* sp. valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de 0.070, 0.297 y <0.008 respectivamente, *Pouteria caimito* valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de 0.197, 0.218 y 0.080 respectivamente, *Matisia cordata*, valores promedio, máximo y mínimo en mg.Kg^{-1} de 0.076, 0.219 y 0.061 respectivamente, *Theobroma cacao*, valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de 0.747, 1.684 y 0.411 respectivamente y *Vochysia* sp. valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de <0.008 , <0.008 y <0.008 respectivamente (Figura 5).

Estructura de mayor acumulación de cadmio

El fruto obtuvo un valor de 0.411 mg.kg^{-1} ; la hoja valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de 0.087, 0.509 y <0.008 respectivamente, el tallo valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de 0.093, 0.747 y <0.008 respectivamente y la raíz valores promedio, máximo y mínimo en mg.kg^{-1} de 0.219, 1.684 y <0.008 respectivamente. No obstante para

Código	Nombre común	Nombre científico	Familia	Uso
I-01	“Caimito”	<i>Pouteria caimito</i>	Sapotaceae	Forestal
I-02	“Sapote”	<i>Matisia cordata</i>	Malvaceae	Frutal
I-03	“Ortiga”	<i>Malvaviscus</i> sp.	Malvaceae	Forestal
I-04	“Chope”	<i>Vochysia</i> sp.	Vochysiaceae	Frutal
S-01	“Pumpunaje”	<i>Carludovica palmata</i>	Cyclanthaceae	Palmera
S-02	“Yarina”	<i>Attalea</i> sp.	Arecaceae	Palmera
S-03	“Cacao”	<i>Theobroma cacao</i>	Malvaceae	Agrícola

Cuadro 3. Lista de especies vegetales evaluadas.

Grupo		Diferencia de medias	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	Agrícola	Forestal	0.693*	0.182	0.008	0.168	1.218
		Frutal	0.774*	0.182	0.003	0.250	1.299
		Palmera	0.649*	0.182	0.013	0.124	1.174
	Forestal	Agrícola	-0.693*	0.182	0.008	-1.218	-0.168
		Frutal	0.082	0.163	0.957	-0.388	0.551
		Palmera	-0.044	0.163	0.993	-0.513	0.426
	Frutal	Agrícola	-0.774*	0.182	0.003	-1.299	-0.250
		Forestal	-0.082	0.163	0.957	-0.551	0.388
		Palmera	-0.125	0.163	0.867	-0.595	0.344
	Palmera	Agrícola	-0.649*	0.182	0.013	-1.174	-0.125
		Forestal	0.043	0.163	0.993	-0.426	0.513
		Frutal	0.125	0.163	0.867	-0.344	0.595

Cuadro 4. Comparación por categorías de las especies vegetales colectadas.

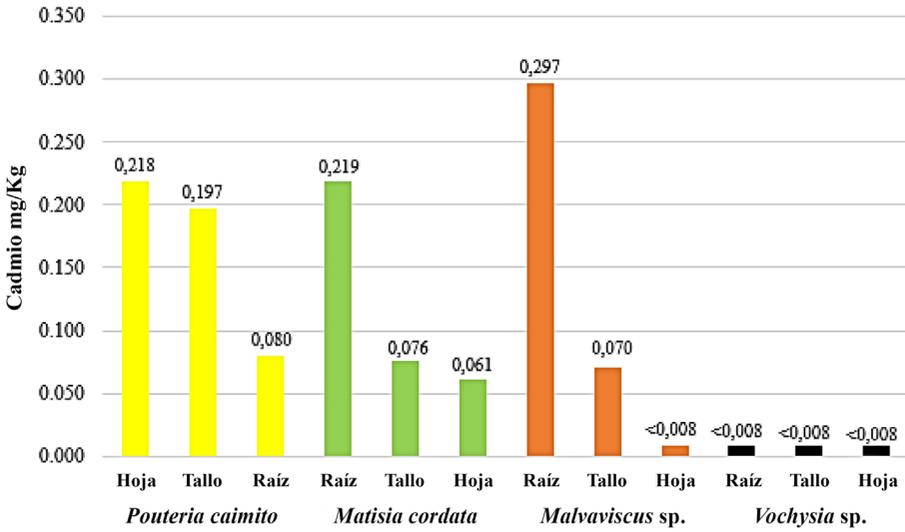


Figura 3. Concentración de cadmio total de las especies vegetales por tipo de estructura evaluada.

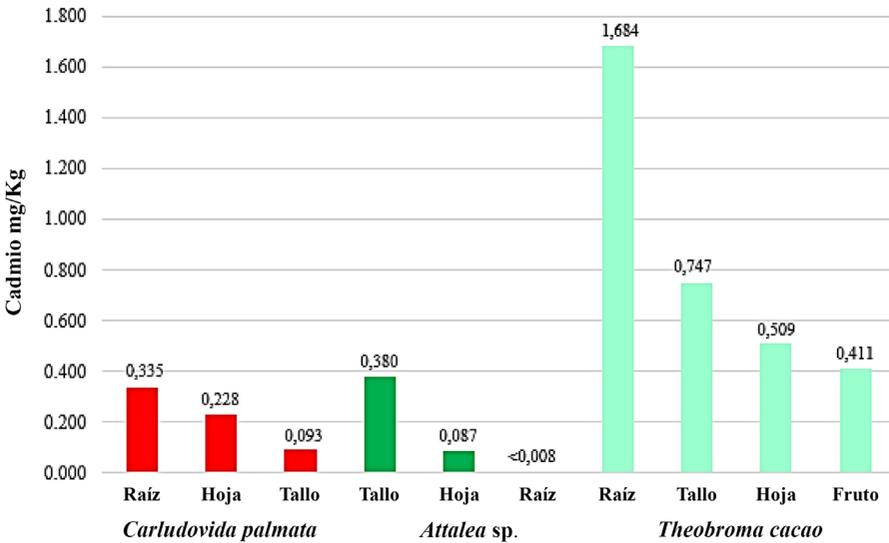


Figura 4. Concentración de cadmio total de las especies vegetales por tipo de estructura evaluada.

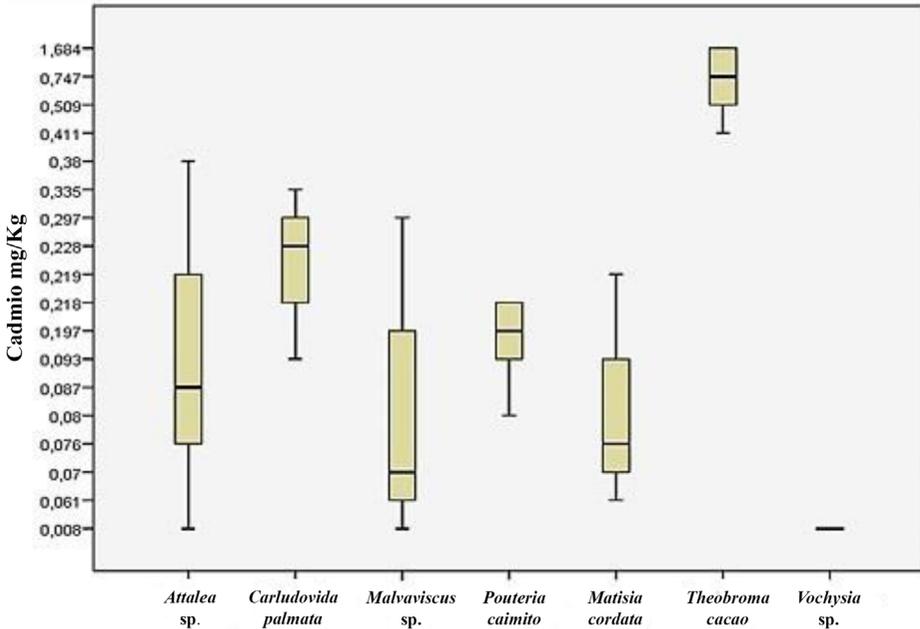


Figura 5. Concentración de cadmio en las especies evaluadas.

este análisis, la raíz fue la estructura vegetal que presentó mayor acumulación de cadmio respecto a las otras estructuras vegetales, se aprecia en la Figura 6.

Comparaciones múltiples por categorías de las especies a través de la prueba Tukey

La diferencia entre la categoría agrícola y forestal es de 0.693 con una significancia de 0.008, la diferencia entre la categoría agrícola y frutal es de 0.774 con una significancia de 0.003, la diferencia entre la categoría agrícola y palmera es de 0.649 con una significancia de 0.013; entre las categorías frutal, forestal y palmera no existe diferencias (Cuadro 4).

Grado de homogeneidad de las especies usando la prueba Duncan

La prueba Duncan forma dos subconjuntos, el subconjunto 1 integrado por *Vochysia sp.*, *Matisia cordata*, *Malvaviscus sp.*, *Attalea sp.*, *Pouteria caimito*, *Carludovica palmata*, indica que sus medias son iguales, y el subconjunto

2 integrado por el cacao; esta prueba indica una diferencia significativa entre subconjuntos (Cuadro 5).

Discusión

La especie muestreada *Theobroma cacao*, a comparación de las otras especies, presentó la mayor acumulación de cadmio (Figura 4 y 5); Herrera (2011) indica que el contenido de cadmio sigue una secuencia descendente en las estructuras (raíz, tallo, hoja y fruto) del cacao, lo que concuerda con esta investigación. En la hoja se obtuvo una concentración de 0.509 mg.kg⁻¹ de cadmio, por otro lado Huamaní-Yupanqui *et al.* (2012) en el tejido foliar del cacao encontraron valores promedio de 0.210 mg.kg⁻¹ de cadmio, valor inferior a los encontrados en esta investigación. Kabata-Pendias (2001) establece que el máximo nivel tolerable de cadmio total en la hoja es de 0.500 mg.kg⁻¹, valor inferior encontrado en el estudio (Figura 4), estas concentraciones po-

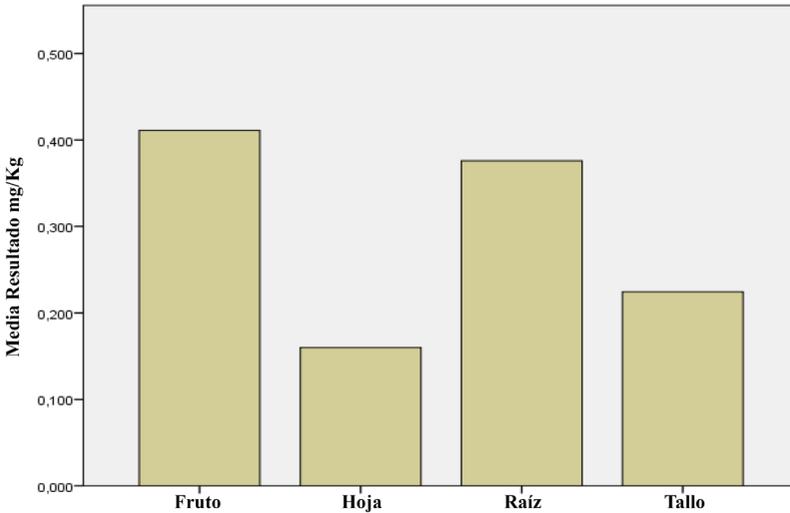


Figura 6. Acumulación de cadmio total por estructura evaluada.

	Especie	N	Subconjunto	
			1	2
Duncan ^{a,b,c}	<i>Vochysia</i> sp.	3	0.008	
	<i>Matisia cordata</i>	3	0.119	
	<i>Malvaviscus</i> sp.	3	0.125	
	<i>Attalea</i> sp.	3	0.158	
	<i>Pouteria caimito</i>	3	0.165	
	<i>Carludovica palmata</i>	3	0.219	
	<i>Theobroma cacao</i>	4		0.838
	Sig.		0.416	1.000

Cuadro 5. Grado de homogeneidad de las especies evaluadas usando la prueba Duncan.

drían causar un estrés en la planta, provocando posteriormente su toxicidad; la variación del cadmio total en la hoja puede depender de acuerdo a la edad de la misma, ya que las hojas más viejas acumulan mayor contenido de cadmio total que las hojas jóvenes debido a la presencia de péptidos (Miranda *et al.* 2008). El contenido de cadmio total en el fruto (Figura 4 y 6), no sobrepasa el límite 0.8 mg.kg⁻¹ de la normativa actual de la Unión Europea (Lanza *et al.* 2016).

Pouteria caimito, usado por los pobladores de la Comunidad Nativa de Pakun como árbol maderable, presenta mayor concentración de cadmio total en la hoja (Figura 3), característica de plantas fitoextractoras (Peralta-Pérez y Volke-Sepúlveda 2012), ya que la mayor concentración se acumula en la parte aérea, facilitando su cosecha, para posteriormente ser incinerado u otro tratamiento. Además, debido a que la concentración en la parte aérea es

mayor a la concentración de cadmio total en el suelo, puede ser considerada como una especie acumuladora de cadmio (Covarrubias y Peña 2017).

Matisia cordata, planta frutal presenta mayor concentración de cadmio total en la raíz (Figura 3); plantas con mayor presencia de metales pesados en las raíces son denominadas fitoestabilizadoras (Mendoza *et al.* 2008), ya que presentan la cualidad de adherir los contaminantes en la raíz, para que su transporte sea menor a las demás estructuras. La concentración de cadmio en la parte aérea es mayor a la concentración en el suelo, por lo que la *Matisia cordata* puede ser considerada como una especie acumuladora de cadmio y otros metales pesados (González-Mendoza y Zapata-Pérez 2008).

Malvaviscus sp., presenta mayor concentración en la raíz (Figura 3), lo que es característica principal de especies fitoestabilizadoras (Jara-Peña *et al.* 2014); además podría ser considerada como especie excluyente, ya que el promedio de concentración de cadmio en su estructura aérea es menor a la concentración de cadmio en el suelo (Llugany *et al.* 2007).

Vochysia sp., es la especie que no presenta cadmio en sus diferentes estructuras (Figura 3 y 5), eso puede deberse a que se comporta como una especie pseudometalofitas, aquellas capaces de sobrevivir en suelos con presencia o contaminación de metales pesados pero no absorben o acumulan el metal (González *et al.* 2008); también puede ser considerada como una especie excluyente ya que la concentración de cadmio en sus estructuras aéreas es menor a la concentración de cadmio total presente en el suelo (Llugany *et al.* 2007).

Carludovica palmata, especie que pertenece a la familia Cyathaceae, es utilizada como parte de los tejados de las casas. La mayor concentración se encuentra en la raíz que en la parte aérea (Figura 4), que puede deberse a la morfología de sus raíces, ya que esta especie presenta raíces más delgadas que las otras especies muestreadas, lo cual facilita su acumulación (Miranda *et al.* 2008), por ello puede

considerarse como una especie fitoestabilizadora (González-Chávez 2005). También puede comportarse como una especie acumuladora ya que la concentración de Cd de la parte aérea es mayor a la presente en el suelo (Covarrubias y Peña 2017).

Attalea sp., presenta mayor concentración en la parte aérea que en la raíz (Figura 4), comportándose como una fitoextractora (Sepúlveda *et al.* 2012) y acumuladora (Covarrubias y Peña 2017).

Conclusiones

De acuerdo a las características morfológicas y fisiológicas se reconocieron siete especies vegetales con capacidad de bioacumular cadmio: *Matisia cordata*, *Pouteria caimito*, *Malvaviscus* sp., *Vochysia* sp., *Carludovica palmata*, *Attalea* sp. y *Theobroma cacao*.

A nivel de categorías, *Theobroma cacao* es la especie con mayor presencia de cadmio en sus estructuras, debiéndose a la exposición directa con el metal, además de ser una plantación perenne, lo que no sucede con las otras especies, que son plantaciones temporales.

La especie *Carludovica palmata*, es la segunda especie que presenta mayor concentración promedio de cadmio en sus diferentes estructuras, comparado con las otras especies.

Vochysia sp., presenta concentraciones de cadmio total menores al rango de lectura del espectrofotómetro de absorción atómica en todas sus estructuras, especies con estas características son denominadas como pseudometalofitas.

La especie *Theobroma cacao* no puede ser considerada como una especie potencial para fitorremediar, ya que al ser empleada las concentraciones de cadmio se transportarían hasta el fruto, provocando daños a la economía y la salud humana.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), por su acogi-

da, apoyo y facilitar el uso del Laboratorio de Suelos y Aguas (LABISAG) para el proceso de secado de las muestras botánicas.

Bibliografía

- Arévalo-Gardini, E; Obando-Cerpa, ME; Zúñiga-Cernades, LB. 2016. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada* 15(2):81-89. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>.
- Batista, R; Sánchez, A. 2009. Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. *Ama Redciencia.Cu* (16):1-6.
- Brako, L; Zarucchi, J. 1993. Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 45:1-1286.
- Carpena, R; Bernal, M. 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas* 16(2):1-3.
- Comunidad Nativa de Pakun. 2017. Quienes somos (en línea, sitio web). Consultado 21 oct. 2017. Disponible en http://www.comunidad-nativapakun.org/menu/menu_somos.html.
- Covarrubias, S; Peña, J. 2017. Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33:7-21. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>.
- Dahiya, S; Karpe, R; Hegde, AG; Sharma, RM. 2005. Lead, cadmium and nickel in chocolates and candies from suburban areas of Mumbai, India. *Journal of Food Composition and Analysis* 18(6):517-522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.05.002>.
- Delgadillo-López, A; González-Ramírez, C. 2011. Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:597-612.
- Duran, A; Tuzen, M; Soylak, M. 2009. Trace metal contents in chewing gums and candies marketed in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 149(1-4):283-289.
- Fernández-Fernández, O; Carrillo-González, R; Vangrosveld, J; González-Chávez, MC. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and Zn accumulation in the metallophytic plant *Viola calaminaria* (Gingins.) Lej. *Revista Chapin-go Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 14(3):355-360.
- Galán, E; Romero, A. 2008. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Macla* (10):48-60.
- García, E; García, E; Juárez, LF; Juárez, L; Montiel, JM; Gómez, MA. 2012. La respuesta de haba (*Vicia faba*, L.) cultivada en un suelo contaminado con diferentes concentraciones de cadmio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28(2):119-126.
- Ginocchio, R; Baker, A. 2004. Metallophytes in Latin America: A remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. *Revista Chilena de Historia Natural* 77(1):185-194. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100014>.
- González-Chávez, M. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *Terra Latinoamericana* 23(1):29-37. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200022>.
- González, I; Muena, V; Cisternas, M; Neaman, A. 2008. Acumulación de cobre en una comunidad vegetal afectada por contaminación minera en el valle de Puchuncaví, Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 81(2):279-291. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2008000200010>.
- González-Mendoza, D; Zapata-Pérez, O. 2008. Mecanismos de Tolerancia a Elementos Potencialmente Tóxicos en Plantas. *Boletín de La Sociedad Botánica Mexicana* (82):53-61.
- Herrera, T. 2011. La Contaminación Con Cadmio en Suelos Agrícolas. *Venezuelos* 8(1 y 2):42-47.
- Huamani-Yupanqui, H; Huauya-Rojas, M; Mansilla-Minaya, L; Florida-Rofner, N; Neira-Trujillo, GM. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agonomica* 61(4): 399-344.

- Insuasty, L; Burbano, H; Menjivar, J. 2006. Movilidad del cadmio en suelos cultivados con trigo en Tangua, Nariño, Colombia. *Acta Agronómica* 55(2):29-32.
- Jara-Peña, E; Gómez, J; Montoya, H; Chanco, M; Cano, N. 2014. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología* 21(2):145-154. DOI: <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>.
- Jing, Y; He, Z; Yang, X. 2007. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Zhejiang University. Science* 8(3):192-207. DOI: <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0192>.
- Kabata-Pendias, A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants Trace Elements in Soils and Plants (3ra edición). CRC Press, Boca Raton, London, New York, CRC Press. 413 p.
- Lanza, J; Churion, P; Liendo, N; López, V. 2016. Evaluación del contenido de metales pesados en cacao (*Theobroma cacao* L.) de Santa Bárbara del Zulia, Venezuela. *Saber, Universidad de Oriente* 28(1):106-115.
- Lara, T; Soares, A; Pedrosa, M; Martins, G. 2011. Respuestas fisiológicas e anatómicas de plantas jóvenes de eucalipto expuestas a cadmio. *Revista Árvore* 35(5):997-1006.
- Llugany, M; Tolrà, R; Poschnrieder, C; Barceló, J. 2007. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas* 16(2): 4-9.
- Martínez, K; Souza, V; Bucio, L; Quiroz, LE; Gutiérrez, MC. 2013. Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta Toxicológica Argentina* 21:33-49.
- Martínez, Y; Rivero, C. 2005. Evaluación de diferentes métodos para determinar las fracciones de metales pesados presentes en el suelo. *Revista Ingeniería Uc* 12(3):14-20.
- Méndez, JP; Ramírez, CAG; Gutiérrez, ADR; García, FP. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10:29-44. DOI: <https://doi.org/1870-0462>.
- Mendoza, I; De la Rosa, M; Cruz, G. 2008. Identificación de especies vegetales relacionadas con jales mineros del Distrito Minero de Guanajuato. *BIOLÓGICAS* (10):94-99.
- Miranda, D; Carranza, C; Rojas, CA; Jerez, CM, Fischer, G; Zurita, J. 2008. Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 2(2):180-191.
- Pennington, TD; Reynel, C; Daza, A. 2004. Illustrated guide to the tree of Perú. David Hunt, The Manse, Chapel Lane, Milborne Port Sherborne, England. 848 p.
- Pennington, T; Sarukhan, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura económica, México. 2ª Edición. 521 p.
- Peralta-Pérez, M; Volke-Sepúlveda, T. 2012. La defensa antioxidante en las plantas: una herramienta clave para la fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11(1):75-88.
- Rodríguez-Serrano, M; Martínez-De la Casa, N; Romero-Puertas, M; del Río, LA; Sandalio, LM. 2008. Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas* 17(3):139-146.
- Satarug, S; Garrett, S; Sens, MA; Sens, D. 2010. Cadmium, environmental exposure, and health outcomes. *Environmental Health Perspectives* 118(2):182-190. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.0901234>.
- Sepúlveda, B; Pavez, O; Tapia, M. 2012. Fitoextracción de metales pesados desde relaves utilizando plantas de *Salicornia* sp. *Revista de La Facultad de Ingeniería* 28(2012):20-26.

Presentado: 16/05/2018

Aceptado: 26/06/2018