

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DE ESPECIES VEGETALES CON POTENCIAL  
FITORREMIADOR DE CADMIO EN PARCELAS AGRÍCOLAS  
DEL DISTRITO DE IMAZA, AMAZONAS, 2016 - 2017.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**Autores: Bach. OC LLATANCE, WILBER  
Bach. GONZA SAAVEDRA, CÉSAR JULIÁN**

**Asesor: Ing. WAGNER GUZMÁN CASTILLO  
Co-Asesor: Ing. ELÍ PARIENTE MONDRAGON**

**CHACHAPOYAS – PERÚ  
2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



**EVALUACIÓN DE ESPECIES VEGETALES CON POTENCIAL  
FITORREMIADOR DE CADMIO EN PARCELAS AGRÍCOLAS  
DEL DISTRITO DE IMAZA, AMAZONAS, 2016-2017**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

**Bach. OC LLATANCE, WILBER**

**Bach. GONZA SAAVEDRA, CÉSAR JULIÁN**

**ASESOR: Ing. WAGNER GUZMÁN CASTILLO**

**CO-ASESOR: Ing. ELÍ PARIENTE MONDRAGON**

CHACHAPOYAS – PERÚ

2017

## DEDICATORIA

*A mi madre **Corina Llatance La Torre**, por ser un ejemplo de superación y por su apoyo incondicional en todas las actividades que realizo. A mis **hermanos**, por su apoyo en la realización de mis metas trazadas. A mis **amigos** por ser parte de este proceso de aprendizaje.*

**Wilber**

*Dedico este trabajo a mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y por el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. A mis hermanas, sobrinos, tíos, abuelos y amigos. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y anhelo de triunfo en la vida.*

**César Julián**

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

La Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, que a pesar de ser una institución joven; promueve la investigación en sus futuros profesionales, en busca del desarrollo sostenibles a nivel local, nacional e internacional.

Nuestros asesores Ing. Wagner Guzmán Castillo, Ing. Elí Pariente Mondragón por compartir sus experiencias, orientación, estrategias y conocimientos en temas de investigación y ambiente, además por su apoyo durante el desarrollo de la investigación.

Nuestros compañeros y amigos que de una u otra forma ayudaron en el desarrollo de nuestra investigación.

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

*Rector*

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

*Vicerrector Académico*

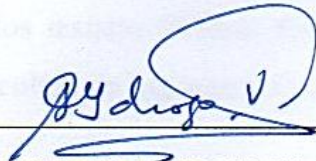
Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

*Vicerrectora de Investigación*

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

*Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental*

## JURADO DE TESIS



---

Ing. GUILLERMO IDROGO VÁSQUEZ

*Presidente*



---

Blga. ROSALYNN JOHANNA RIVERA LÓPEZ

*Secretaria*



---

Ing. LIZETTE DANIANA MÉNDEZ FASABI

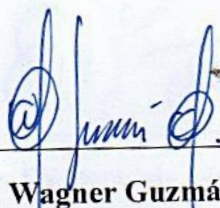
*Vocal*

## VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo **Wagner Guzmán Castillo**, docente de la UNTRM-A, hago constar que he asesorado la ejecución de la tesis titulada “**Evaluación de especies vegetales con potencial fitorremediador de cadmio en parcelas agrícolas del distrito de Imaza, Amazonas, 2016-2017**”, elaborado por los tesisistas **Wilber Oc Llatance** y **César Julián Gonza Saavedra**, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

El docente de la UNTRM-A que suscribe, da el **Visto Bueno** al informe final de la tesis en mención.

Chachapoyas, 05 de Noviembre de 2017.



---

**Ing. Wagner Guzmán Castillo**

*Asesor*

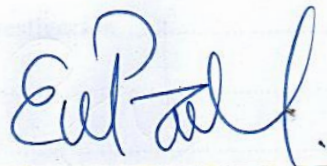


## VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

Yo **Elí Pariente Mondragón**, docente de la UNTRM-A, hago constar que he asesorado la ejecución de la tesis titulada **“Evaluación de especies vegetales con potencial fitorremediador de cadmio en parcelas agrícolas del distrito de Imaza, Amazonas, 2016-2017”**, elaborado por los tesisistas **Wilber Oc Llatance y César Julián Gonza Saavedra**, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

El docente de la UNTRM-A que suscribe, da el **Visto Bueno** al informe final de la tesis en mención.

Chachapoyas, 05 de Noviembre de 2017.



**Ing. Elí Pariente Mondragón**

*Co-asesor*



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	iii
JURADO DE TESIS .....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR .....	v
VISTO BUENO DEL CO-ASESOR.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
III. MARCO TEÓRICO .....	4
3.1. Antecedentes de la investigación.....	4
3.2. Bases teóricas.....	6
3.2.1. Cacao .....	6
3.2.2. Metales pesados.....	7
3.2.3. Cadmio .....	10
3.2.4. Fitorremediación.....	11
3.2.5. Base legal.....	14
3.3. Definición de términos.....	18
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1. Área de estudio .....	19

4.2.	Métodos .....	21
4.2.1.	Selección del área de estudio.....	21
4.2.2.	Establecimiento de la parcela de muestreo.....	21
4.2.3.	Reconocimiento y selección de las especies vegetales.....	21
4.2.4.	Colecta de muestras de especies vegetales .....	22
4.2.5.	Identificación de nombres científicos de las especies vegetales .....	22
4.2.6.	Determinación de la concentración de cadmio en las especies vegetales.	23
4.2.7.	Análisis estadístico .....	23
V.	RESULTADOS .....	25
5.1.	Caracterización del área de estudio.....	25
5.2.	Concentración de cadmio total en el suelo .....	25
5.3.	Evaluación y selección de especies vegetales.....	25
5.4.	Identificación de las especies vegetales.....	27
5.5.	Concentración de cadmio total de las especies vegetales .....	27
5.6.	Especie de mayor acumulación de cadmio .....	30
5.7.	Estructura de mayor acumulación de cadmio .....	31
5.8.	Comparaciones múltiples por categorías de las especies vegetales a través de la prueba Tukey .....	32
5.9.	Grado de homogeneidad de las especies mediante la prueba Duncan.....	33
VI.	DISCUSIONES .....	34
VII.	CONCLUSIONES.....	37
VIII.	RECOMENDACIONES.....	38
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
	ANEXOS.....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao .....	15
Tabla 2: Propuestas de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao.....	16
Tabla 3: Niveles de cadmio total en el suelo de acuerdo a su uso.....	17
Tabla 4: Concentración de cadmio en el suelo .....	25
Tabla 5: Características morfológicas y fisiológicas de las especies vegetales en la parcela de estudio.....	26
Tabla 6: Lista de las especies vegetales .....	27
Tabla 7: Comparación por categorías de las especies vegetales colectadas.....	32
Tabla 8: Grado de homogeneidad de cada una de las especies vegetales mediante la prueba Duncan.....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la parcela de estudio.....	20
Figura 2: Concentración de cadmio total en cada estructura de la especie. ....	29
Figura 3: Especie con mayor acumulación de cadmio total. ....	30
Figura 4: Estructura vegetal con mayor concentración de cadmio total.....	31

## RESUMEN

El cadmio es considerado uno de los metales pesados más tóxicos, pequeñas concentraciones podrían provocar grandes problemas al ambiente y a la salud del ser humano, una fuente de ingreso del metal al sistema digestivo humano es a través de la ingesta de alimentos contaminados, siendo uno de ellos el cacao; sin embargo existen técnicas biológicas de saneamiento para remediar suelos contaminados con cadmio y demás metales pesados, destacando entre ellas la fitorremediación. Esta investigación se centró en evaluar las especies vegetales que acumulen cadmio total de forma natural, en parcelas agrícolas de la Comunidad Nativa de Pakun, distrito de Imaza. Se recolectaron muestras de suelo como estudio preliminar, para constatar la presencia del metal en el suelo, posteriormente se realizó un reconocimiento de todas las especies arbustivas y arbóreas silvestres, seleccionando aquellas que no presenten enrollamiento foliar y clorosis, se procesaron y analizaron para cuantificar el cadmio total contenido en las estructuras vegetales hojas, tallo y raíz. Los resultados nos indican que *Carludovica palmata*, conocida como Pumpunaje, presentó la mayor concentración de cadmio total, principalmente en la raíz, lo que hace considerarla como una especie potencialmente fitorremediadora de cadmio total.

**Palabras clave:** metales pesados, cadmio, potencial fitorremediador, especies vegetales.

## ABSTRACT

Cadmium is considered one of the metals once more were weighed toxic small concentrations would be able to provoke big problems to the environment and to the human being's health, a source of entrance of the metal to the human digestive system is through the ingesta of contaminated foodstuff, being one of them the cocoa; However biological techniques of sanitation exist stops to remedy grounds contaminated with cadmium and besides heavy metals, highlighting between them the fitorremediation. This investigation focused on evaluating the vegetable sorts that accumulate total cadmium spontaneously, at Pakun's Native Community's agricultural plots of land itself, Imaza's district. They recollected signs of ground like preliminary study, to verify the presence of metal in the ground, at a later time a recognition of all the shrublike and arboreal wild sorts was accomplished, selecting those that not present rolling up foliating and chlorosis, they processed themselves and the sheets, stem and root analyzed to quantify the total cadmium contained in the vegetable structures. The results suggest us than *Carludovica palmata*, acquaintance like Pumpunaje, the bigger concentration of total cadmium presented, principally in the root, that makes somebody regard her potentially fitorremediadora of total cadmium as a sort.

**Key words:** Heavy metals, cadmium, potential fitorremediador, vegetable sorts.



## I. INTRODUCCIÓN

El suelo por condiciones naturales presenta una gran variedad de metales, formando parte de los minerales, provenientes de rocas (Martínez & Rivero, 2005), pueden encontrarse en forma de óxidos, hidróxidos y aglomeraciones con otros elementos (Méndez, Ramírez, Gutiérrez, & García, 2009). Clasificándose en esenciales (requerido en pequeñas cantidades como nutrientes para las plantas) y no esenciales (tóxicos para el suelo y plantas) (Batista & Sánchez, 2009). Los metales pesados también pueden llegar al suelo de manera antropogénica a través de efluentes mineros, fertilizantes, residuos sólidos, entre otros (Jing, He, & Yang, 2007; Galán & Romero, 2008). Los 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 para el suelo (Carpena & Bernal, 2007).

El cadmio (Cd) es un metal pesado no esencial para las plantas, cuya concentración en el suelo puede ser a través del uso de fertilizantes fosfatados, y como subproducto de la explotación de zinc y cobre (García et al., 2012; Martínez, Souza, Bucio, Gómez, & Gutiérrez, 2013); puede ser absorbido en plantas, generalmente en raíces, tallos, hojas, frutos y semillas siguiendo ese orden (Insuasty, Burbano, & Menjivar, 2006; Herrera, 2011); la concentración del metal depende de la edad y el tipo de especie (Méndez et al., 2009), afectando el crecimiento, la fotosíntesis (Lara, Soares, Pedrosa, & Martins, 2011), además reduce las concentraciones de nitratos, genera desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto, provocando clorosis de la planta (Rodríguez-Serrano, Martínez-De la Casa, Romero-Puertas, Del Río, & Sandalio, 2008). Puede acumularse en raíces, hojas o partes comestibles como frutos grasosos, como se caracteriza el fruto de cacao (Arévalo-Gardini et al., 2016). El cacao absorbe el cadmio y lo acumula en las semillas (Huamaní-Yupanqui, Huauya-Rojas, Mansilla-Minaya, Florida-Rofner, & G., 2012; Jiménez, 2015), tal como lo demuestran estudios realizados en Venezuela, y Perú (Arévalo-Gardini et al., 2016; Lanza, Churion, Liendo, & López, 2016).

El ser humano por la ingesta directa o indirecta (cereales, chocolates, gomas de mascar y confites) de concentraciones de Cd (Dahiya, Karpe, Hegde, & Sharma, 2005; Duran, Tuzen, & Soylak, 2009), induce 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 como: a la próstata, al pulmón, a la vejiga y al páncreas (Satarug, Garrett, Sens, & Sens, 2010; Herrera, 2011).

Por otro lado existen plantas que se adaptan a áreas contaminadas con Cd, desarrollando la capacidad de absorber éste contaminante (Rodríguez-Serrano et al., 2008), denominadas metalofitas, éstas tienen mecanismos para tolerar suelos altamente contaminados (Ginocchio & Baker, 2004; Fernández-Fernández, Carrillo-González, Vangrosveld, & González-Chávez, 2008), dentro de este grupo destacan las hiperacumuladoras (González, Muena, Cisternas, & Neaman, 2008; Delgadillo-López & González-Ramírez, 2011), que tienen la capacidad de acumular altas concentraciones en su sistema (González-Mendoza & Zapata-Pérez, 2008). Por lo tanto la fitorremediación es una tecnología que tiene avance significativo, debido al uso de plantas para remover sustancias tóxicas del suelo (Carpena & Bernal, 2007; Galaviz & Trejo, 2011).

En esta investigación se identificó y evaluó especies vegetales que tengan capacidad de absorber el cadmio presente en suelos productores de cacao, con la finalidad de utilizarlas como fitorremediadoras, para descontaminar estos suelos y así disminuir su concentración en los frutos de cacao.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo general**

Evaluar especies vegetales con potencial fitorremediador de cadmio, en parcelas agrícolas del distrito de Imaza.

### **2.2.Objetivos específicos**

- Diagnosticar la zona de estudio de las parcelas productoras de cacao.
- Evaluar el perfil de la flora, para identificar especies con potencial fitorremediador de cadmio en las áreas contaminadas.
- Determinar la capacidad de acumulación de cadmio total, en las estructuras principales (hoja, raíz y tallo) de las especies vegetales con mayor potencial fitorremediador.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Antecedentes de la investigación

Existen estudios en saneamiento de suelos contaminados que evaluaron la acumulación de cadmio y otros metales pesados en especies vegetales; entre los más recientes se encuentran:

Valderrama, Carvajal, Peñailillo, & Tapia, (2016), evaluó el incremento en la acumulación de cadmio, cobre y sus efectos fisiológicos en la *Azolla filiculoides* al adicionarle el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), obteniendo que al adicionarle el ácido no afecta en la acumulación de cadmio, y por más pequeña concentración de cadmio en la planta genera daños en su metabolismo. En el caso del cobre se notó un incremento en la acumulación al adicionarle el ácido EDTA.

Peláez-Peláez, Bustamante, & Gómez, (2016), realizaron muestreos de suelo de una refinería a profundidades de 5 y 30 cm y plantaciones de pastos del género *Brachiaria* presentes en el área, a diferentes distancias evaluando la acumulación de cadmio y plomo en sus partes vegetales (raíz, tallo, hoja). Obtuvieron que las especies *Brachiaria humidicola* y *Brachiaria decumbens* se muestran como tolerantes a estos ambientes, mayor acumulación se da a profundidad de 5 cm; acumulándose mayormente en el tallo para el caso del cadmio.

Jara-Peña et al., (2014), evaluaron veinte tratamientos con 5 especies alto andinas *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus* en 4 diferentes sustratos con 30%, 60%, 100% de relave de mina (RM) y suelo sin RM, las muestras vegetales fueron cosechadas a los doce meses, posteriormente las muestras fueron secadas en estufa, molidas, digeridas con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y cloruro de hidrógeno (HCl), se analizó usando el espectrofotómetro de absorción atómica, concluyendo que el *Lupinus ballianus* (chocho silvestre) es la especie de mayor acumulación de cadmio total.

Escalante-Campos et al., (2012), realizaron ensayos para evaluar el efecto del cadmio en la germinación y desarrollo de plántulas de *Axonopus affinis* y *Festuca rubra*. Inocularon semillas previamente tratadas, agregaron rizobacteria *Pseudomonas* sp. Sp7D y concentración de cadmio, a los 10 días se midió la longitud y biomasa radicular. Concluyendo que la adición de la rizobacteria

aumentó la germinación y crecimiento de *Festuca rubra* L., además de presentar su potencial protector ante la presencia de cadmio, caso contrario sucedió con *Axonopus affinis*.

Elías-Letts et al., (2012), recolectó el musgo *Sphagnum maguellanicum*, del departamento de Junín, limpió y separó en partículas de 8 y 0,5 mm de diámetro. Lo sometió a ensayos de 100 ml de metales pesados (cadmio, cobre, y zinc) y expuesto a agitación constante de 100 rpm durante 72 horas, posteriormente se filtró con papel Whatman y se determinó la concentración de los metales mediante Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS). Concluyeron que el musgo particulado en 0,5 mm tiene una mayor capacidad de adsorber los metales, principalmente cobre.

Lara et al., (2011), germinaron semillas de *Eucalyptus camaldulensis* durante 45 días, posteriormente se transfirieron a solución nutritiva de Clark por 15 días, se seleccionó las mejores y se sometió a cinco dosis de cadmio (0, 15, 25, 45 y 90  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) con cuatro repeticiones cada tratamiento, realizando evaluaciones de estado hídrico y pigmentos a los 1, 3, 6, 12 y 20 días. A los 20 días, se cosecharon y se separó en raíces y parte aérea, se secó a 70 °C. Los resultados indican que el *Eucalyptus camaldulensis* presenta respuestas fisiológicas y anatómicas sometidas al cadmio, debido al aumento de carotenoides.

### 3.2. Bases teóricas

#### 3.2.1. Cacao

El cacao (*Theobroma cacao*) es una especie originaria de los bosques tropicales húmedos de América del sur (Programa para el Desarrollo de la Amazonía [PROAMAZONIA], 2003; Morales, García, & Méndez, 2006; Lanza et al., 2016). Sus almendras constituyen el alimento básico para la industria del chocolate, cosmética, farmacéutica y otros derivados (Alexandre, Chagas, Marques, Costa, & Cardoso, 2015). A partir del 2010 la producción mundial se ha ido manteniendo en 4,6 millones de toneladas, del cual América Latina contribuye con 875 000 toneladas, que se encuentran distribuido entre Brasil, Ecuador, Perú y Venezuela (Armando, 2016). En el Perú ha tenido un crecimiento importante, a partir del 2014 se produce más de 30 000 toneladas (Barrientos, 2015), para el 2015 tuvo un incremento de 137,2% con 87 300 toneladas (Armando, 2016), a nivel nacional las regiones que más aportan a esta actividad son Amazonas, Cajamarca, San Martín y Huánuco con el 56% de la producción nacional (Arévalo-Gardini et al., 2016). Los principales mercados del cacao nacional es Europa: Francia, Inglaterra, Bélgica y Estados Unidos (Sánchez & Rengifo, 2017).

Es un alimento dulce utilizado siglos atrás por diferentes culturas, contribuye con la fijación de CO<sub>2</sub> (Ortega, Páez, Feria, & Muñoz, 2017); genera muchos beneficios para el ser humano, entre ellos destacan: mejora el funcionamiento vascular, previene enfermedades cardiovasculares, previene la arteriosclerosis, aporta vitaminas E, B1, B2, entre otros beneficios (Waizel-Haiat, Waizel-Bucay, Magaña-Serrano, Campos-Bedoya, & Esteban-Sosa, 2012; Negaresh & Marín, 2013).

La temperatura y precipitación son los factores más importantes para el desarrollo óptimo de las plantas de cacao. Éstas reaccionan en forma muy sensible a la cantidad de agua en el suelo y son susceptibles a la sequedad (República de Colombia, 2015). El cultivo requiere lluvias uniformemente repartidas a lo largo del año de un total de 1500 - 2000 mm. Las temperaturas mínimas medias son de 18 - 21 °C, las máximas de 30 - 32 °C (Leiva, 2012).



Las plantas alcanzan normalmente sólo 4 - 8 m de altura; comienzan a florecer y fructificar después de 3 - 4 años desde la siembra. La cosecha máxima se alcanza después de 6 - 7 años. Las hojas se forman en 4 - 5 fases de despliegue foliar y alcanzan su actividad fotosintética total en 4 - 5 meses. Después de 1 año en promedio cae (Waizel-Haiat et al., 2012).

El auge que experimenta la actividad cacaotera en Latinoamérica está limitado por el grave impacto de las enfermedades, como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) y pudrición del fruto (*Phytophthora* spp.), y el bajo desempeño de muchas plantaciones debido a razones genéticas y de manejo (Sánchez-Mora et al., 2015).

En la región Amazonas, las áreas productoras de cacao se ven amenazadas principalmente por la moniliasis, causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, que ataca a las mazorcas o frutos causando la pudrición de los granos (Sánchez-Mora et al., 2014). Otra de las enfermedades que afectan al cacao es mal de machete, causada por el hongo *Ceratocystis fimbriata*, y la escoba de bruja originada por el hongo *Crinipellis perniciosa* (Reynaldo & Mollinedo, 2016).

### **3.2.2. Metales pesados**

Conjunto de elementos cuyo peso específico es mayor a  $5 \text{ g cm}^{-3}$  y número atómico mayor a 20 (Núñez et al., 2008), con densidad relativamente alta y muy nociva aún en pequeñas concentraciones (Méndez et al., 2009). De los 70 elementos metálicos, 59 son considerados como metales pesados, incluyendo los metaloides (Galán & Romero, 2008). Se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en forma de minerales, sales y otros (Méndez et al., 2009; Huauya & Huamaní, 2014).

Algunos metales en menores concentraciones son necesarios para el ser humano como el cobalto, hierro, cobre, manganeso, molibdeno y el zinc (Londoño-Franco, Londoño-Muñoz, & Muñoz-García, 2016). En cambio hay otros elementos que está comprobado sus efectos adversos a la salud humana,

y otros que carecen de investigación en efectos al hombre como el uranio (Sabath & Robles-Osorio, 2012).

Los metales pesados pueden llegar a fuentes hídricas (quebradas, ríos, lagos), vegetales, animales y alimentos, a través de efluentes industriales, mineros, agropecuario y uso indiscriminado de fertilizantes, alterando la cadena trófica y provocando riesgos en la naturaleza y sociedad humana (Londoño-Franco et al., 2016).

### **Comportamiento de los metales pesados en el suelo:**

Las características del suelo como: textura, nutrientes, retención de agua, materia orgánica, salinidad, pH, permiten reducir o aumentar la toxicidad de los metales; por lo general tienden a acumularse a nivel superficial hasta quedando en fácil acceso a las raíces de las plantas (Pérez et al., 2008). En el suelo, los metales pueden seguir cuatro rutas, pueden quedar retenidos en el suelo mediante soluciones o complejos, pueden ser volatilizados, pueden eutrofizarse a aguas superficiales o subterráneas, o pueden ser absorbidos por especies vegetales (Delince, Valdés, López, Guridi, & Balbín, 2015).

- El **pH**, es una de las características del suelo que va a influir en la movilidad y toxicidad de los metales pesados, los suelos con pH ácidos presentan mayor disponibilidad que los pH alcalinos, a excepción del molibdeno, arsénico, selenio, y cromo que presentan mayor disponibilidad en suelos alcalinos (Reyes, 2010).
- La **textura**, permite caracterizar el suelo granulométricamente mediante su composición arena, limo y arcilla. La arcilla influye sobre la movilidad de los metales, permitiendo su adsorción. En suelos arenosos permite la movilidad de los metales pesados al subsuelo o napa freática (Reyes & Avendaño, 2013).
- **Salinidad**, determina el contenido de sales en el suelo. El aumento de sales permite incrementar la movilidad de los metales pesados, ya que los cationes permiten reemplazar al metal y los aniones forman

complejos con metales como cadmio, zinc y mercurio (Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, & Borbón, 2012).

- La **materia orgánica**, reacciona con los metales formando complejos, permitiendo la movilización de los metales. La materia orgánica adsorbe algunos metales, lo que provoca que no se encuentren disponibles a las plantas (Reyes & Barreto, 2011).
- **Capacidad de cambio**, el intercambio catiónico depende del tipo de minerales de la arcilla, de la materia orgánica, de la valencia y del radio iónico hidratado del metal. A mayor tamaño y menor valencia, menos frecuentemente quedan retenidos los metales pesados (Galán & Romero, 2008).

#### **Comportamiento de los metales pesados en especies vegetales:**

Los metales pesados involucrados con las especies vegetales pueden generar ciertas características; existen especies capaces de sobrevivir y otras que no soportan el metal en su estructura; los metales pesados son absorbidos por el sistema vascular, generando ciertos efectos como: alteración de la fotosíntesis, la respiración y metabolismo del nitrógeno, reduce la absorción de agua y nutrientes, inhibe el desarrollo de las raíces, provoca la clorosis y enrollamiento foliar (Escalante-Campos et al., 2012), además el metal presente en las semillas inhibe la absorción de agua provocando la reducción de su germinación (Labra-Cardón et al., 2012).

#### **Comportamiento de los metales pesados en la salud humana:**

Los metales pesados son metabolizados en el hígado con proteínas, denominándose a esta asociación metalotioneínas, estas se encuentran distribuidas en todo el organismo, su estructura contiene gran cantidad del aminoácido cisteína, permitiéndole gran afinidad para reaccionar y almacenar metales como zinc, cadmio, mercurio, cobre, plomo, níquel, cobalto y fierro (Sabath & Robles-Osorio, 2012).

### 3.2.3. Cadmio

Es un elemento químico, perteneciente al grupo IIB de la tabla periódica, con número atómico 48, en la naturaleza suele ir acompañado con el zinc, plomo y cobre (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011). Las principales fuentes naturales de cadmio son las erupciones volcánicas y meteorización de rocas; también por fuentes antropogénicas el cadmio suele estar presente en la fabricación de baterías y pinturas, quema de combustibles fósiles, en la industria microelectrónica, fabricación de cemento y fertilizantes fosfatados (Pernía, De Sousa, Reyes, & Castrillo, 2008; Sánchez, Subero, & Rivero, 2011), se considera que la presencia de altas concentraciones de cadmio en suelos agrícolas proviene del uso de fertilizantes fosfatados (Martínez et al., 2013). Debido a su uso en diferentes actividades, puede ser emitido a la atmósfera, al suelo o al agua.

En el suelo suele existir cadmio en concentraciones menores a  $0,2 \text{ mg Kg}^{-1}$  lo cual es considerado como normal, pero cuando suele sobrepasar esta cantidad es considerado como tóxico (Marbán, de López, Ratto, & Agostini, 1999; Gramlich et al., 2016). Una parte del cadmio presente en el suelo es capturado por las plantas a través de las células de las raíces (Ruiz, 2011), donde se unen a la pared celular de las células epidérmicas, a través del intercambio iónico son traslocados al resto de la planta (Regalado, Leiseca, Cabrera, Franco, & Bulnes, 2014). Plantas expuestas al cadmio producen especies reactivas del oxígeno (EROs), inhibiendo sus procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, reducción del crecimiento, enrollamiento foliar, clorosis (Rodríguez-Serrano et al., 2008); pero existen otras plantas que son capaces de aumentar sus enzimas antioxidantes, permitiéndoles reducir los daños de las EROs, aumentando la tolerancia de cadmio en sus tejidos (Lara et al., 2011).

Una fuente de ingreso de cadmio a la alimentación humana, es la ingesta de productos vegetales; pero también pueden ser ingeridos a través del consumo de pescado y crustáceos (Ramírez, 2002; Garrido, Veitia, Guillen, García, & Chacón, 2013). Los problemas que ocasiona la ingesta de Cd, está relacionado principalmente con el riñón, hígado, pulmón, páncreas, testículos y hueso (Martínez et al., 2013), ocasionando deficiencias renales, osteoporosis,

hipertensión arterial, diabetes, enfisema pulmonar, y algunos cánceres como: a la próstata, al pulmón, a la vejiga y al páncreas (Satarug et al., 2010).

#### 3.2.4. Fitorremediación

Palabra que deriva del prefijo griego *phyto* = planta y sufijo latín *remedium* = limpiar o restaurar, es una tecnología de la biorremediación que puede considerarse rentable y sostenible (Marrero-Coto, Amores-Sánchez, & Coto-Pérez, 2012); consiste en el uso de plantas para remover, transferir, estabilizar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos y aguas, puede ser aplicado tanto in situ como ex situ (Delgadillo-López & González-Ramírez, 2011; Andrezza, Bortolon, Pieniz, Bento, & Camargo, 2015). Las principales ventajas de esta tecnología es que no utilizan reactivos químicos peligrosos, no afectan negativamente a la estructura del suelo (Carpena & Bernal, 2007); el uso de plantas genera un bajo costo económico, apropiado para descontaminar superficies grandes, los metales pueden ser capturados y reciclados (Ortega-Ortiz, Benavides-Mendoza, Arteaga, & Zermeño-González, 2012).

Las técnicas que emplea la fitorremediación, depende del tipo de tratamiento a aplicar; para fijar o retener el contaminante se suele usar rizofiltración, fitoestabilización y/o fitoinmovilización. Para eliminar el contaminante es preferible usar fitodegradación, fitoextracción y/o fitovolatilización (Chan-Quijano et al., 2015).

- **Rizofiltración**, consiste en el uso de raíces de plantas para descontaminar efluentes contaminados con metales pesados o compuestos orgánicos (Moosavi & Seghatoleslami, 2013). Las plantas se cultivan en invernaderos con las raíces sumergidas en agua, una vez desarrollada la planta se coloca en contacto el sistema radicular con el efluente a tratar (Guevara, De La Torre, Villegas, & Criollo, 2009; López, Melaj, Tomellini, & Martin, 2014).
- **Fitoestabilización**, consiste en usar las plantas para inmovilizar o reducir los metales presentes en suelos y relaves mineros a través de las

raíces o bacterias asociadas (Karami & Shamsuddin, 2010), mejorando las propiedades físicas y químicas del medio (Pizarro et al., 2016). Esta tecnología reduce la dispersión de metales en el medio ambiente y el sustrato regresa a una condición ecológica aceptable para diversos usos (Orchard, León-Lobos, & Ginocchio, 2009).

- **Fitoimmobilización**, uso de las raíces de las plantas para fijar o inmovilizar los contaminantes en el suelo (Carpena & Bernal, 2007; Delgadillo-López & González-Ramírez, 2011).
- **Fitodegradación**, consiste en la degradación de contaminantes orgánicos a través de las enzimas de las plantas o por la acción de microorganismos rizosféricos (Batista & Sánchez, 2009), que metabolizan o catalizan el contaminante (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005).
- **Fitoextracción**, uso de plantas para extraer o absorber el contaminante en las partes cosechables, sin generar efectos adversos en su crecimiento (Kacálková, Tlustoš, & Száková, 2009; Zalewska & Nogalska, 2014). Utilizado mayormente para remediar suelos contaminados con metales pesados (Martins et al., 2014).
- **Fitovolatilización**, uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire (Chan-Quijano et al., 2015).

En relación con los metales, las dos técnicas más prometedoras son: la fitoextracción y la fitoestabilización; teniendo en cuenta que las plantas pueden fijar o estabilizar dentro de su estructura la concentración del metal presente en el suelo (Garbisu, Becerril, Epelde, & Alkorta, 2007; Peralta-Pérez & Volke-Sepúlveda, 2012).

Existen diferentes clasificaciones de especies vegetales involucradas con la descontaminación de suelos con metales pesados. Dentro de ellas están, las que dependen de la respuesta fisiológica a los metales: metalofitas y



pseudometalofitas (Cartaya, Reynaldo, Peniche, & Garrido, 2011); y excluyentes, indicadoras y acumuladoras (Covarrubias & Peña, 2017).

- **Metalofitas o hiper-acumuladoras**, son aquellas que han desarrollado mecanismos fisiológicos para tolerar, resistir y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales tóxicos, no pueden sobrevivir en zonas no mineralizadas (Kidd, Becerra, García, & Monterroso, 2007; Ortiz & Aranibar, 2015).
  
- **Pseudometalofitas**, aquellas capaces de tolerar metales pesados pero no en altos niveles, pueden sobrevivir en suelos contaminados y en aquellos de concentraciones normales (Ginocchio & Baker, 2004).
  
- **Excluyentes:** son aquellas plantas donde la acumulación de metales en la parte aérea es mucho menor respecto a la concentración de metales en el suelo (Llugany, Tolrà, Poschnrieder, & Barceló, 2007).
  
- **Indicadoras:** aquellas plantas donde la acumulación de metales en el tejido aéreo guarda una relación lineal respecto a la concentración del suelo (González-Mendoza & Zapata-Pérez, 2008).
  
- **Acumuladoras:** plantas donde la acumulación de metales en su parte aérea es mucho mayor que la concentración de metales en el suelo (Covarrubias & Peña, 2017).

### **3.2.5. Base legal**

#### **3.2.5.1. El Codex Alimentarius (Código Alimentario)**

Es la compilación de todas las normas alimentarias, directrices en materia de alimentos y límites máximos de aditivos alimentarios, residuos de plaguicidas y medicamentos veterinarios. Abarca una gran cantidad de los productos alimentarios comercializados a nivel mundial. La Comisión del Codex Alimentarius es el más alto organismo internacional en materia de normas de alimentación, integrada por 176 países, representando el 99% de la población mundial. Es un organismo subsidiario de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se ha convertido en un punto de referencia mundial para los consumidores, los productores y elaboradores de alimentos, los organismos nacionales de control de los alimentos y el comercio alimentario internacional. Su influencia se extiende a todos los continentes y su contribución a la protección de la salud de los consumidores.

En la sexta reunión del Comité sobre Contaminantes de los Alimentos (2012) se informó de la propuesta de evaluación sobre la exposición al cadmio en el cacao y los productos derivados del cacao con el fin de incluir en la lista de prioridades de los contaminantes y sustancias tóxicas naturalmente presentes en los alimentos propuestos para su evaluación, En su octava reunión el Comité acordó iniciar un nuevo trabajo sobre el establecimiento de niveles máximos (NM) para el cadmio en el chocolate y los productos derivados de cacao. Debido a esto, la Comisión del Codex Alimentarius en diciembre del 2014, propone Niveles Máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao (Comisión del Codex Alimentarius, 2014).

Tabla 1: *Niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao*

<b>Productos</b>	<b>Niveles Máximo de Cadmio mg Kg<sup>-1</sup></b>
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao <30%	0,20
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao <50%; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥30%	0,60
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥50%	2,00
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	1,50

Fuente: Comisión del Codex Alimentarius

### **3.2.5.2. La Unión Europea (UE)**

El punto 3.2.7 (niveles máximos de cadmio) del Reglamento de la Comisión Europea (CE) N° 1881/2006, ha sido modificado por el Reglamento N° 488-2014 el 12 de Mayo de 2014, estableciendo nuevos niveles máximos de cadmio para el cacao y sus derivados; este reglamento se aplicará a partir del 1 de enero de 2019. Los productos alimenticios que no cumplan dichos niveles máximos y que se hayan comercializado legalmente en el mercado antes del 1 de enero de 2019 podrán seguir comercializándose después de esa fecha hasta su fecha de duración mínima o su fecha de caducidad (Unión Europea, 2014).

Tabla 2: *Propuestas de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao*

<b>Cadmio</b>	<b>Ppm</b>
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30 %	0,10 a partir del 1 de enero de 2019
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 30 %	0,30 a partir del 1 de enero de 2019
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 50 %	0,80 a partir del 1 de enero de 2019
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0,60 a partir del 1 de enero de 2019

Fuente: Reglamento N° 488-2014 de la Unión Europea

### 3.2.5.3. El Ministerio del Ambiente

Mediante el artículo 31° de la Ley N° 28611 (Ley General del Ambiente), define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos. Mediante el D. S. N° 002-2013-MINAM, establece los ECA para suelo (agrícola, residencial y comercial), en compuestos orgánicos e inorgánicos. Definiendo a un suelo agrícola como dedicado a la producción de cultivos y desarrollo ganadero; suelo residencial como suelo apto para la construcción de viviendas y áreas de recreación y, suelo comercial e industrial como aquel relacionado con actividades comerciales, extracción y aprovechamiento de recursos naturales. El decreto supremo considera dentro de los compuestos inorgánicos al cianuro, arsénico total, bario total,

cadmio total, cromo VI, mercurio total y plomo total, estableciendo un ECA para cadmio de 1,4 mg Kg<sup>-1</sup> para suelo agrícola, 10 mg Kg<sup>-1</sup> para suelo comercial y 22 mg Kg<sup>-1</sup> para suelo comercial/industrial (Ministerio del Ambiente-Perú, 2013).

Tabla 3: *Niveles de cadmio total en el suelo de acuerdo a su uso*

Parámetros	Uso del Suelo			Método de Ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Uso Comercial /Industrial/ Extractivos	
Cadmio				EPA-
Total (mg Kg <sup>-1</sup> MS)	1,4	10	22	3050-B EPA 3051

Fuente: D. S. N° 002-2013-MINAM

### 3.3. Definición de términos

- **Parcela**, término utilizado para nombrar a una porción de terreno, que puede ser usada para diferentes usos (Machado & León, 2005).
- **Contaminante emergente**, cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente, y generalmente, se genera como consecuencia de la actividad humana (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).
- **Especies reactivas del oxígeno**, se denomina así a la presencia de un electrón desapareado dentro de una molécula, generando inestabilidad y efectos mortales en una célula, cuando existe una excesiva exposición a contaminantes genera un estrés oxidativo en la planta (Mayor-Oxilia, 2010).
- **Metalotioneínas**, proteínas ricas en cisteína que se encuentran en el aparato de Golgi de las células, tienen la facilidad de unirse con metales pesados por lo que están involucradas con la desintoxicación de metales pesados, aunque el metal en altos niveles puede generar un estrés oxidativo y provocar enfermedades al ser humano (Lemus, Salazar, Lapo, & Chung, 2016).
- **Elementos traza**, son elementos que se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en pequeñas concentraciones como: cadmio, bario, mercurio, plomo, entre otros, cuya función biológica se desconoce, pueden ser altamente tóxicas para los seres vivos (Tirado, González-Martínez, Martínez, Wilches, & Celedón-Suárez, 2015).
- **Toxicidad**, nivel en que una sustancia es considerada tóxica, es decir, se trata de una medida para identificar el nivel tóxico de un elemento o sustancia en un organismo (Martínez et al., 2013).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. 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, para posteriormente ser comercializado en la ciudad de Bagua. Geográficamente pertenece a la zona 17M, en las coordenadas UTM 800976 Este, y 9427707 Norte (figura 1) (Comunidad Nativa de Pakun, 2012).

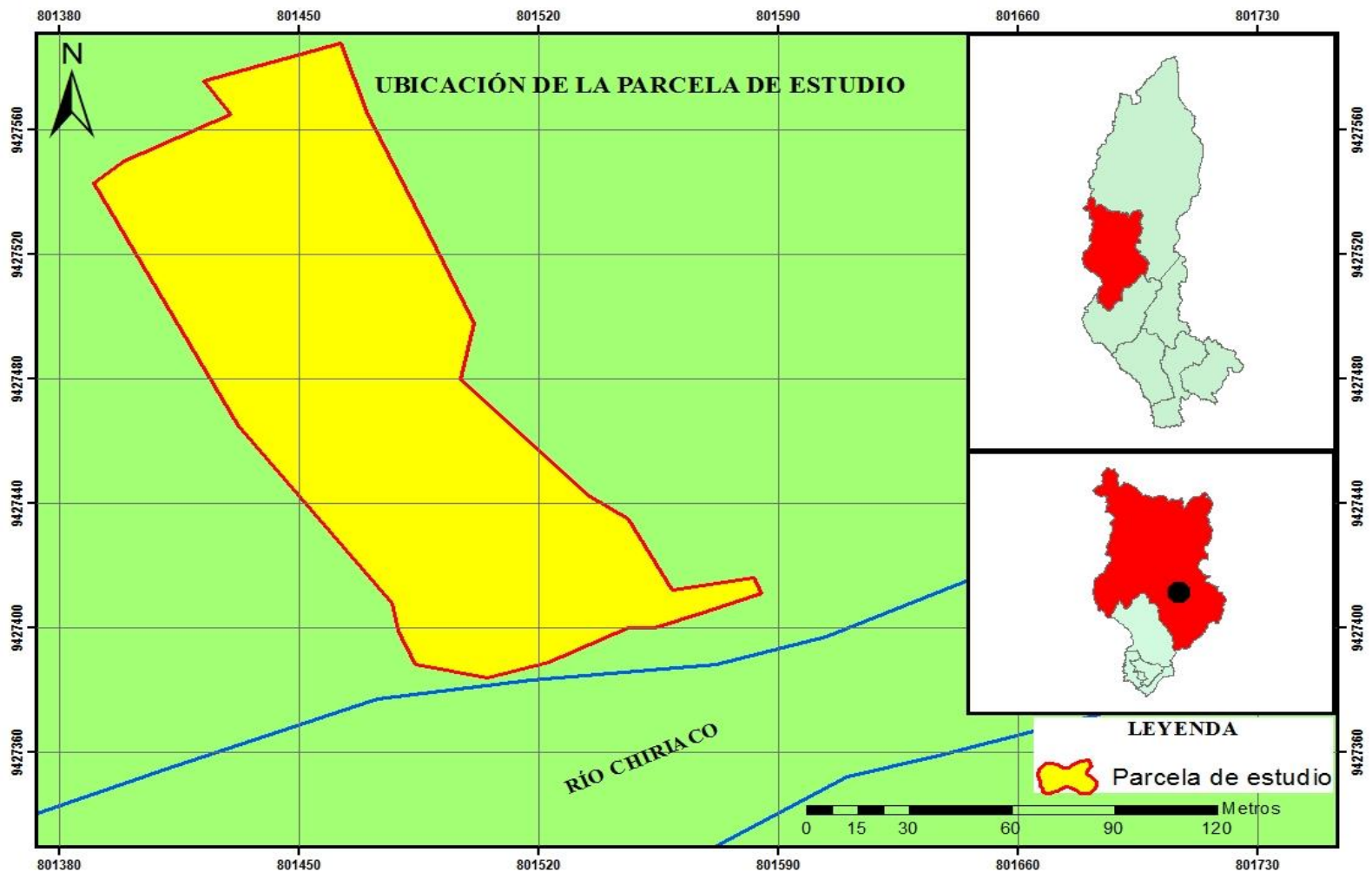


Figura 1: Mapa de ubicación de la parcela de estudio



## **4.2.Métodos**

### **4.2.1. Selección del área de estudio**

La ubicación del área donde se encuentra la parcela de estudio es resultado de un estudio preliminar, realizado en los meses de enero y febrero del año 2016, con la finalidad de determinar concentración de cadmio total en suelo. Este conocimiento previo del área nos permitió definir la localización de la parcela de estudio.

La selección del área de estudio (1,9 Has) se realizó por su contenido representativo de suelos con presencia de cadmio en aquellas parcelas productoras de cacao y que se encuentre a la ribera del río Chiriaco, expuesta a inundaciones en épocas de lluvia.

### **4.2.2. Establecimiento de la parcela de muestreo**

El establecimiento de la parcela de 1,9 Has se inició con una visita previa de 2 días en el mes de enero del 2017, donde se hicieron los recorridos necesarios con el apoyo del propietario de la parcela; se precisó la ubicación del sitio seleccionado con ayuda de GPS (Global Positioning System) (anexo 1). Esta zona se caracteriza por ser de fácil acceso, donde se observa especies importantes.

### **4.2.3. Reconocimiento y selección de las especies vegetales**

Se recorrió la parcela, caracterizando (fisiológicamente y morfológicamente) todas las especies vegetales (arbustos y árboles) presentes; 1) para el reconocimiento se consideró las características morfológicas, es decir, aquellas especies vegetales  $\geq 2,5$  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 vegetales que cumplan con ciertas características fisiológicas, como, especies vegetales que no presenten enrollamiento foliar y clorosis.

#### **4.2.4. Colecta de muestras de especies vegetales**

La colecta de muestras botánicas se realizó con la ayuda de una tijera telescópica, machete y pala, colectando mínimo tres muestras (raíz = 10 cm, tallo = 1x5x15 cm, hoja y fruto) por cada especie seleccionada. Se colocaron dentro de papel periódico, cada una con su código respectivo. Las muestras botánicas fueron prensadas *in situ*, usando una prensa de madera y cartón para no sufrir daños físicos, luego preservados con alcohol de 96° y depositados en bolsa de polietileno y trasladados para su posterior secado al laboratorio de Suelos y Aguas 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. (Anexo 6).

Paralelamente a la colecta de muestras botánicas, se georreferenciaron las especies vegetales para la elaboración del mapa (anexo 2 y 3).

#### **4.2.5. Identificación de nombres científicos de las especies vegetales**

Se separó estructuras de hojas y frutos. Se realizó comparaciones de las muestras con datos del Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú (Brako & Zarucchi, 1993), y la base de datos del herbario virtual Trópicos (Trópicos, 2017), bajo la supervisión del Ing. Elí Pariente.

Cada especie arbórea fue identificada a nivel de especie, morfoespecie y familia. La morfoespecie, se trata de identificaciones preliminares de los especímenes. Los duplicados de las muestras fueron depositados y apropiadamente acondicionados en el laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

#### **4.2.6. Determinación de la concentración de cadmio en las especies vegetales.**

Tres muestras botánicas de seis especies vegetales, y cuatro muestras en el caso del cacao fueron colocadas en sobres con su código respectivo, se selló y se envió al laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería (LABICER), para su análisis de concentración de cadmio, usando el método AOAC 999.11 (anexo 4).

El método AOAC 999.11, es empleado para determinar concentración de cadmio, plomo, cobre, zinc y hierro en muestras vegetales. Consiste en pulverizar la muestra botánica en un mortero de ágata, seguidamente se tamiza en una malla N° 200, para mejorar la digestión, posteriormente toma 0,2 gr de cada muestra, se vierte en fioles rotuladas de 50 ml de capacidad, se homogenizan con 6 ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y 4 ml de ácido clorhídrico (HCl), luego se lleva a digestión ácida por una hora utilizando una plancha eléctrica; cuando el contenido se clarifica o aclara, se agrega agua destilada hasta completar los 25 ml, se filtra y luego se realiza la lectura con el espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) (Jorhem, 2000).

#### **4.2.7. 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 botánica 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 forestal; 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.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Caracterización del área de estudio

La parcela de estudio de una extensión de 1,9 Has, se encuentra adyacente al río Chiriaco, dedicada a la agroforestería, con su principal finalidad la producción de cacao, las plantas presentes además del cacao son: caña de azúcar, caimito, sapote, plátano, ortiga, yarina, pumpunaje, palta, chope, caña brava.

### 5.2. Concentración de cadmio total en el suelo

La concentración promedio de cadmio total en el suelo es  $0,054 \text{ mg Kg}^{-1}$  (Tabla 4).

Tabla 4: *Concentración de cadmio en el suelo*

Muestra de suelo	Concentración de cadmio ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Muestra 1	0,043
Muestra 2	0,111
Muestra 3	<0,008

### 5.3. Evaluación y selección de especies vegetales

De acuerdo a las características morfológicas y fisiológicas se seleccionaron siete especies vegetales (Tabla 5).

Tabla 5: Características morfológicas y fisiológicas de las especies vegetales en la parcela de estudio.

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)	Enrollamiento foliar	Clorosis
“Caimito”	<i>Pouteria caimito</i>	SAPOTACEAE	10	0.65	5	semidenso	irregular	15	Ausente	Ausente
“Sapote”	<i>Quararibea 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> L.	MALVACEAE	3,5	0.40	3.5	semidenso	irregular	5	Ausente	Ausente

#### 5.4. Identificación de las especies vegetales

Se logró identificar el nombre científico, morfoespecie y familia de cada especie estudiada.

Tabla 6: *Lista de las especies vegetales*

Código	Nombre común	Nombre científico	Familia	Uso
I-01	“Caimito”	<i>Pouteria caimito</i>	SAPOTACEAE	Forestal
I-02	“Sapote”	<i>Quararibea 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> L.	MALVACEAE	Agrícola

#### 5.5. Concentración de cadmio total de las especies vegetales

Una vez seleccionadas las especies vegetales con presencia de cadmio en el suelo, se procedió a analizar la presencia del metal pesado en cada una de las especies colectadas.

Los valores obtenidos para *Pouteria caimito* en cada estructura vegetal, muestra que la hoja, tallo y raíz presentan concentraciones de cadmio total de 0,218, 0,197 y 0,080 respectivamente.

Los valores obtenidos para *Quararibea cordata* en cada estructura vegetal, indican que la hoja, tallo y raíz presentan concentraciones de cadmio total de 0,061, 0,076 y 0,219 respectivamente.

Los valores obtenidos para *Malvaviscus* sp. en cada estructura vegetal, muestra que la hoja, tallo y raíz tiene las siguientes concentraciones <0,008, 0,070 y 0,297 respectivamente.

Los valores obtenidos para *Vochysia* sp. en cada estructura vegetal, muestra que la concentración de cadmio en la hoja, tallo y raíz es de <0,008, <0,008 y <0,008 respectivamente.

Los valores obtenidos para *Carludovica palmata* en cada estructura vegetal, muestra que la hoja, tallo y raíz presentan las siguientes concentraciones 0,228, 0,093 y 0,335 respectivamente.

Los valores obtenidos para *Attalea* sp. en cada estructura vegetal, muestra que la hoja, tallo y raíz presentan concentraciones de 0,087, 0,380 y <0,008 respectivamente.

Los valores obtenidos para *Theobroma cacao* L. cada estructura vegetal, muestra que el fruto, hoja, tallo y raíz presentan concentraciones de 0,411, 0,509, 0,747 y 1,684 respectivamente.



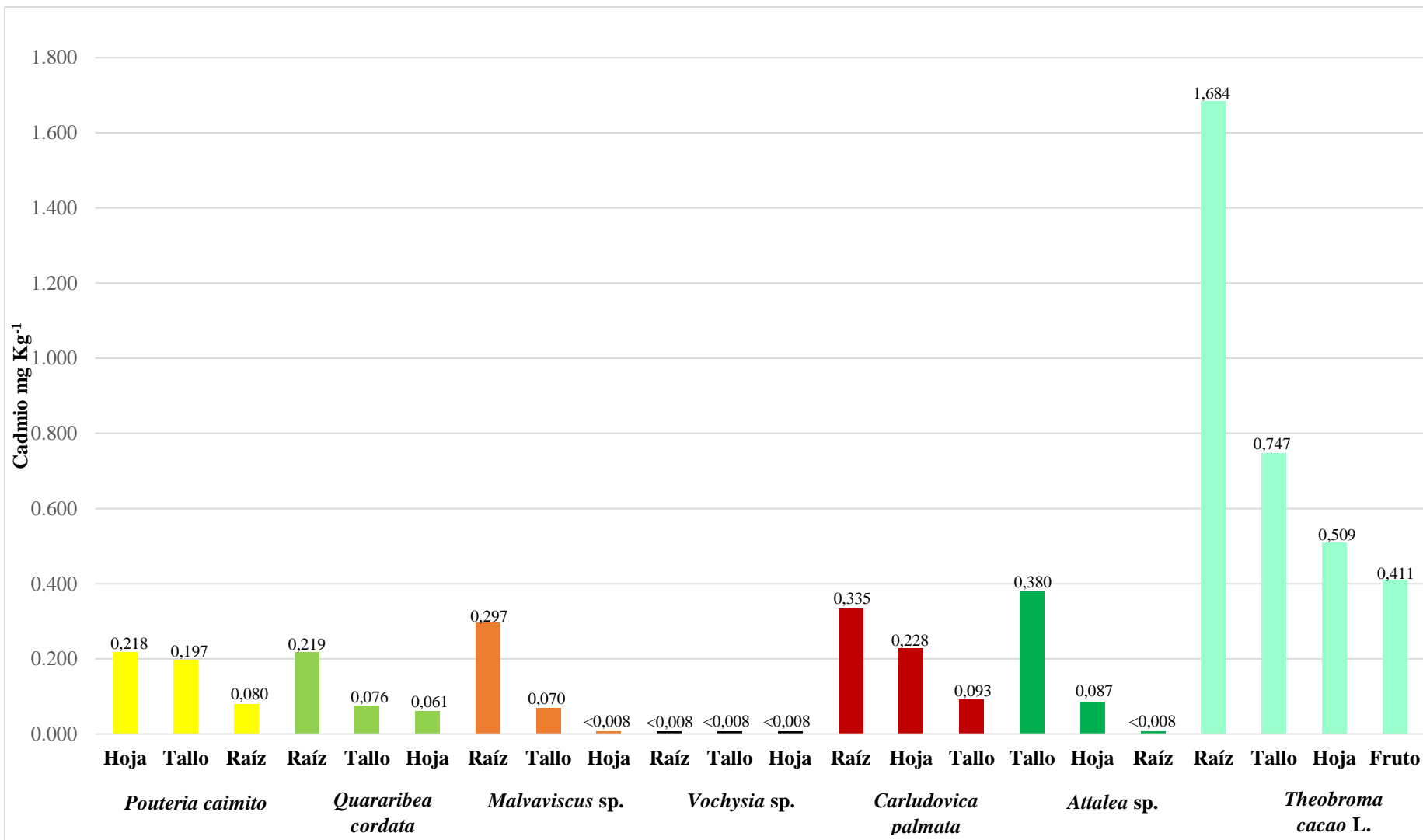


Figura 2: Concentración de cadmio total en cada estructura de la especie.

## 5.6. Especie de mayor acumulación de cadmio

De las siete especies vegetales muestreadas, *Attalea* sp. tiene valores promedio en  $\text{mg Kg}^{-1}$ , máximo y mínimo de 0,087, 0,380 y  $<0,008$  respectivamente, *Carludovica palmata* tiene valores promedio en  $\text{mg Kg}^{-1}$ , máximo y mínimo de, 0,228, 0,335 y 0,093 respectivamente, *Malvaviscus* sp. tiene valores promedio en  $\text{mg Kg}^{-1}$ , máximo y mínimo de 0,070, 0,297 y  $<0,008$  respectivamente, *Pouteria caimito* tiene valores promedio en  $\text{mg Kg}^{-1}$ , máximo y mínimo de 0,197, 0,218 y 0,080 respectivamente, *Quararibea cordata* tiene valores promedio en  $\text{mg Kg}^{-1}$ , máximo y mínimo de 0,076, 0,219 y 0,061 respectivamente, *Theobroma cacao* L. tiene valores promedio en  $\text{mg Kg}^{-1}$ , máximo y mínimo de 0,747, 1,684 y 0,411 respectivamente y *Vochysia* sp. tiene valores promedio en  $\text{mg Kg}^{-1}$ , máximo y mínimo de  $<0,008$ ,  $<0,008$  y  $<0,008$  respectivamente.

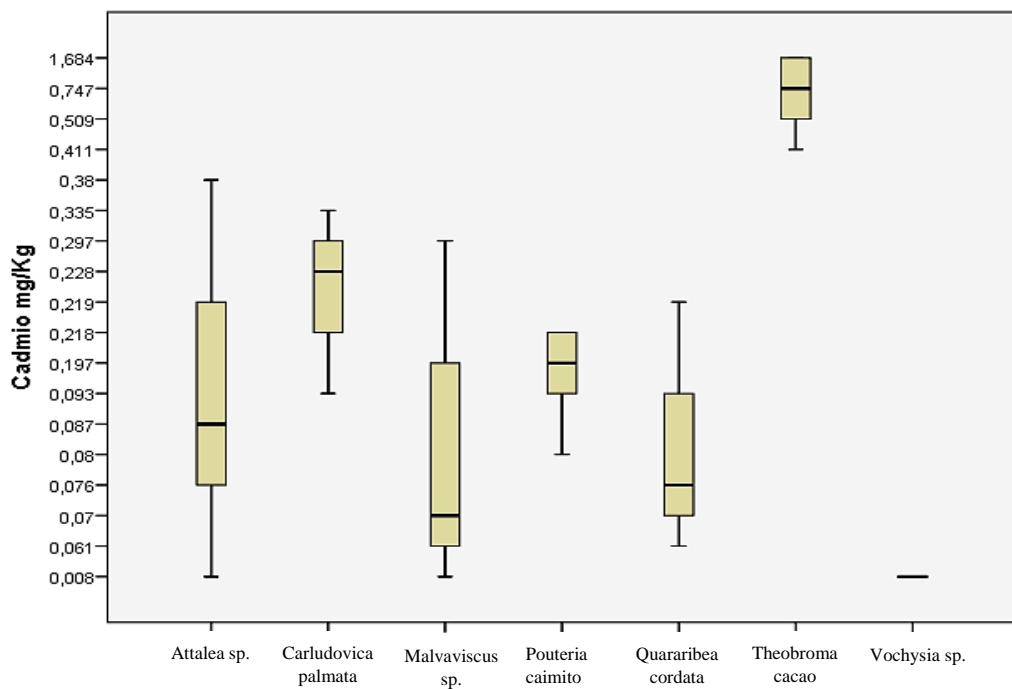


Figura 3: Especie con mayor acumulación de cadmio total.

### 5.7. Estructura de mayor acumulación de cadmio

El fruto obtuvo un valor de 0,411 mg Kg<sup>-1</sup>; la hoja valores promedio mg Kg<sup>-1</sup>, máximo y mínimo de 0,087, 0,509 y <0,008 respectivamente, el tallo valores promedio mg Kg<sup>-1</sup>, máximo y mínimo de 0,093, 0,747 y <0,008 respectivamente y la raíz valores promedio mg Kg<sup>-1</sup>, máximo y mínimo de 0,219, 1,684 y <0,008 respectivamente.

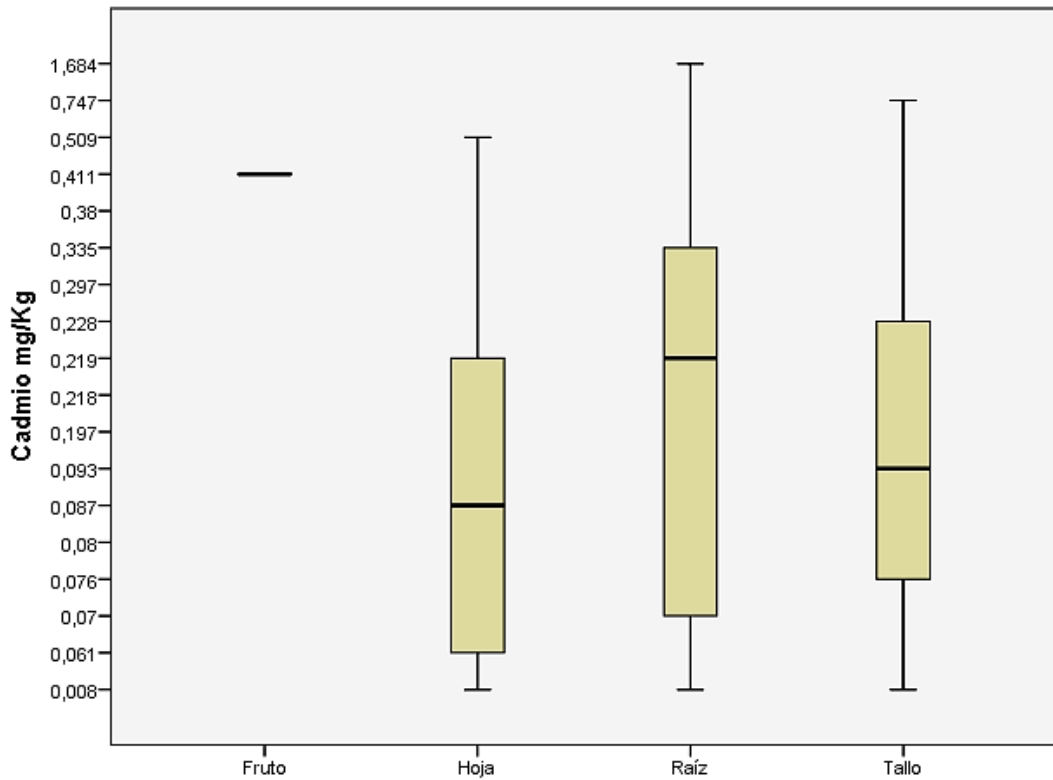


Figura 4: Estructura vegetal con mayor concentración de cadmio total.

### 5.8. Comparaciones múltiples por categorías de las especies vegetales a través de la prueba Tukey

La comparación múltiple usando la prueba Tukey, permite diferenciar las medias de cada una de las categorías. 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.

Tabla 7: Comparación por categorías de las especies vegetales colectadas

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	

### 5.9. Grado de homogeneidad de las especies mediante la prueba Duncan

La prueba Duncan forma dos subconjuntos, el subconjunto 1 integrado por Chope, Sapote, Ortiga, Yarina, Caimito, Pumpunaje, indica que sus medias son iguales, y el subconjunto 2 integrado por el cacao; esta prueba indica una diferencia significativa entre subconjuntos.

Tabla 8: *Grado de homogeneidad de cada una de las especies vegetales mediante la prueba Duncan*

	Especie	N	Subconjunto	
			1	2
Duncan <sup>a,b,c</sup>	Chope	3	0,008	
	Sapote	3	0,119	
	Ortiga	3	0,125	
	Yarina	3	0,158	
	Caimito	3	0,165	
	Pumpunaje	3	0,219	
	Cacao	4		0,838
	Sig.			0,416

## VI. DISCUSIONES

Las siete especies vegetales reconocidas y seleccionadas son: *Quararibea cordata*, *Pouteria caimito*, *Malvaviscus* sp., *Vochysia* sp., *Carludovica palmata*, *Attalea* sp., *Theobroma cacao* L., nativas de zonas amazónicas, presentes a una altitud de 0 - 1 500 msnm, de las cuales *Pouteria caimito*, *Vochysia* sp. y la *Carludovica palmata* se encuentran registradas para el departamento de Amazonas (Brako & Zarucchi, 1993).

*Theobroma cacao* muestreado, a comparación de las otras especies, es la que presenta mayor acumulación de (figura 2 y 3), Herrera (2011) indica que el contenido de cadmio sigue una secuencia descendente en las estructuras (raíz, tallo, hoja y fruto) de cacao, lo que concuerda con esta investigación (figura 2). En la hoja se encontró concentración de 0,509 mg Kg<sup>-1</sup> de cadmio, Huamaní-Yupanqui et al., (2012) encontraron en el tejido foliar del cacao valores promedio de 0,210 mg Kg<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>, valor inferior a lo encontrado en el cacao muestreado (figura 2), podría considerarse que a la concentración en la que se encuentra podría 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 cantidad que las hojas jóvenes debido a la presencia de péptidos (Miranda et al., 2008).

El contenido de cadmio total obtenido en el fruto del cacao (figura 2), no sobrepasa el límite 0,8 g kg<sup>-1</sup> de la normativa actual de la Unión Europea (Lanza et al., 2016), pero debido al aumento del consumo de cacao la Unión Europea para el año 2019 ha estipulado reducir el nivel máximo del cadmio total en el fruto y derivados del cacao (tabla 2), ya que el procesamiento de sus derivados no incluye la separación de este metal, tal es el caso que se ha encontrado concentraciones de cadmio en sub-productos como confites, chocolates (Duran et al., 2009), que debido a su consumo diario se puede acumular en el sistema digestivo y generar problemas en la salud del hombre (Dahiya et al., 2005).

*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 2), lo que es característica de plantas fitoextractoras de contaminantes presentes en el suelo (Peralta-Pérez & 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 & Peña, 2017).

*Quararibea cordata*, planta frutal presenta mayor concentración de cadmio total en la raíz (figura 2), plantas con mayor presencia de metales pesados en las raíces son denominadas fitoestabilizadoras (Mendoza, De la Rosa, & Cruz, 2008), ya que presentan la cualidad de adherir los contaminantes, 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 *Quararibea cordata* puede ser considerada como una especie acumuladora de cadmio y otros metales pesados (González-Mendoza & Zapata-Pérez, 2008).

*Malvaviscus* sp., presenta mayor concentración en la raíz (figura 2), 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 concentración de cadmio en sus diferentes estructuras (figura 2), eso puede deberse a que se comporta como una especie pseudometalofitas, que son 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 vegetal que pertenece a la familia *Cyclanthaceae* (palmera), es utilizada como parte de los tejados de las casas. La mayor concentración se encuentra en la raíz que en la parte aérea (figura 2), 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), al tener mayor concentración de cadmio total en la raíz se comporta como una especie fitoestabilizadora (González-Chávez, 2005). También se puede considerar como una especie acumuladora ya que la concentración de la parte aérea es mayor a la concentración del suelo

(Covarrubias & Peña, 2017). Después del *Theobroma cacao* es la especie que presenta mayor concentración a comparación del resto (figura 3).

*Attalea* sp., especie perteneciente a las palmeras, ésta presenta mayor concentración en la parte aérea que en la raíz (figura 2), por esta cualidad se comporta como una fitoextractora (Sepúlveda, Pavez, & Tapia, 2012). A la vez debido a que la concentración del contaminante es mayor en la parte aérea que en el suelo, se caracteriza como una especie acumuladora (Covarrubias & Peña, 2017).



## VII. CONCLUSIONES

Con los objetivos propuestos, se realizó la investigación, con la finalidad de conocer que especies vegetales nativas tienen el potencial fitorremediador de cadmio, que ayuden a la conservación y manejo de los recursos naturales. Se identificaron especies que presentaron características fitorremediadoras y dieron positivo a la presencia de cadmio.

- De acuerdo a las características morfológicas y fisiológicas se reconocieron y recolectaron siete especies vegetales: *Quararibea cordata*, *Pouteria caimito*, *Malvaviscus* sp., *Vochysia* sp., *Carludovica palmata*, *Attalea* sp., *Theobroma cacao* L.
- La especie *Carludovica palmata*, de la familia *Cyclanthaceae*, es la que especie vegetal que presenta mayor concentración de cadmio en sus diferentes estructuras, comparado con las otras especies.
- La especie *Pouteria caimito* (*Sapotaceae*), es la segunda especie que presenta mayor concentración, comportándose como una especie con condiciones para ser utilizada en procesos de fitorremediación de suelos contaminados con cadmio total.
- De acuerdo a las concentraciones encontradas en las estructuras aéreas (fruto, hoja y tallo) y raíz se tiene especies como *Pouteria caimito*, *Quararibea cordata*, *Carludovica palmata*, *Malvaviscus* sp. y *Attalea* sp. que se comportan como fitoextractoras, además *Carludovica palmata* se comporta como una fitoestabilizadora.
- A nivel de categorías, la agrícola es la que tiene 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.
- *Vochysia* sp. (Chope), presenta concentraciones de cadmio total menores al rango de lectura del espectrofotómetro de absorción atómica en todas sus estructuras, por lo que es denominada como una especie pseudometalofita.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Debido a que esta investigación se realizó en un área específica del distrito de Imaza, se recomienda que se extienda a otras áreas del distrito. Además se realicen estudios en las aguas, animales y microorganismos, que también son parte de la degradación y transformación de metales pesados.
- Realizar estudios para determinar la fuente de la contaminación de cadmio que puede ser un estudio más intensivo del suelo y un estudio del agua del río Chiriaco. Además realizar estudios de presencia de zinc en el suelo y plantas, ya que también es un metal pesado y presenta una gran afinidad con el cadmio.
- Realizar un estudio experimental con la especie de mayor capacidad de acumulación de cadmio, es decir, realizar pruebas de ensayo en campo o a nivel de laboratorio, considerando como variables: concentración de cadmio total presente en el sustrato, edad de la especie vegetal; eso permitirá verificar la capacidad de acumulación de cadmio y periodos de edad hasta las cuales acumula el metal pesado.
- Realizar estudios para determinar los suelos que tienen mayor contaminación de cadmio en esta área y realizar un mapeo de estos.
- El cacao muestra una capacidad de acumular y/o absorber grandes cantidades de cadmio total, además la presencia de 0,411 mg/kg en el fruto demuestra que a partir del año 2019 no podrá ser comercializado en países que pertenezcan a la Unión Europea, provocando problemas a los productores de cacao del país ya que el principal mercado del cacao es la Unión Europea, por ende se debe realizar acciones de remediación de suelos agrícolas contaminados con cadmio.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, L., Macias, K., & Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 57–60.
- Alexandre, R., Chagas, K., Marques, H., Costa, P., & Cardoso, J. (2015). Caracterização de frutos de clones de cacauzeiros na região litorânea de São Mateus , ES. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 19(8), 785–790.
- Andreazza, R., Bortolon, L., Pieniz, S., Bento, F. M., & Camargo, F. A. O. (2015). Evaluation of two Brazilian indigenous plants for phytostabilization and phytoremediation of copper-contaminated soils. *Brz. J. Biol.*, 75(4), 868–877.
- Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M. E., Zúñiga-Cernades, L. B., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>
- Armando, C. (2016). Estudio del Cacao en el Perú y el Mundo, 90.
- Barrientos, P. (2015). La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial. *Semestre Económico*, 18(37), 129–155.
- Batista, R., & Sánchez, A. (2009). Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. *Ama.Redciencia.Cu*, (16), 1–6. Retrieved from <http://ama.redciencia.cu/articulos/16.02.pdf>
- Brako, L., & Zarucchi, J. (1993). *Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú*.
- Carpena, R., & Bernal, M. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, 16(2), 1–3.
- Cartaya, O., Reynaldo, I., Peniche, C., & Garrido, M. (2011). Empleo de Polímeros Naturales como alternativa para la Remediación de Suelos Contamiados por Metales Pesados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(1), 41–46.

- Chan-Quijano, J., Jarquín-Sánchez, A., Ochoa-Gaona, S., Martínez-Zurimendi, P., López-Jiménez, L., & Lázaro-Vázquez, A. (2015). Directrices para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Teoría Y Praxis*, (17), 123–144. <https://doi.org/http://www.teoriaypraxis.uqroo.mx/doctos/numero17/Chan-et-al.pdf>
- Comisión del Codex Alimentarius, F. (2014). *Anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao. FAO y OMS.*
- Comunidad Nativa de Pakun, P. (2012). Comunidad nativa de Pakun-Chiriaco, Amazonas, Perú. Retrieved November 10, 2017, from <http://www.comunidadnativapakun.org/index.php>
- Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Dahiya, S., Karpe, R., Hegde, A. G., & Sharma, R. M. (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. <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.
- Delince, W., Valdés, R., López, O., Guridi, F., & Balbín, M. (2015). Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 44–50.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0202-0>
- Elías-Letts, R., Ugarte, D., Loayza-Muro, R., Condori, D., Rojas, R., & Piñatelli, M. (2012). Evaluación del potencial de adsorción de cobre, cadmio y cinc del musgo *Sphagnum maguellanicum* proveniente de Junín, Perú. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 78(3), 183–187.

- Escalante-Campos, S., Rodríguez-Dorantes, A., Vásquez-Murrieta, M. S., Rodríguez-Tovar, A. V., Guerrero-Zúñiga, L. A., Pérez, N. O., ... Ponce-Mendoza, A. (2012). Evaluación del efecto de cadmio sobre la germinación y elongación radical de semillas bacterizadas de *Axonopus affinis* y *Festuca rubra*. *Polibotanica*, (34), 205–221.
- Fernández-Fernández, O., Carrillo-González, R., Vangrosveld, J., & González-Chávez, M. C. (2008). Arbuscular mycorrhizal fungi and Zn accumulation in the metallophytic plant *Viola calaminaria* (Gingins.) Lej. *Revista Chapingo 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.
- Galaviz, A., & Trejo, R. (2011). Uso de *Cenchrus ciliaris* L. y *Setaria verticillata* L. en la Fitoestabilización de suelos contaminados con plomo y cadmio. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 10(1), 27–31.
- Garbisu, C., Becerril, J., Epelde, L., & Alkorta, I. (2007). Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas*, 16(2), 1–6.
- García, E., García, E., Juárez, L. F., Juárez, L., Montiel, J., & Gómez, M. (2012). La respuesta de haba (*Vicia Faba*, L.) cultivada en un suelo contaminado con diferentes concentraciones de cadmio. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 28(2), 119–126.
- Garrido, M. L., Veitia, S. A., Guillen, T. D. A., García, O. C., & Chacón, J. J. (2013). Procedimiento analítico para la determinación de metales pesados en zanahoria y espinaca cultivadas en organopónicos urbanos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), 20–26.
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52–73.
- 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. <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. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200022>
- González, I., Muená, 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. <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.
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros, J., Armengot, L., Schneider, M., & Schulin, R. (2016). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of The Total Environment*, 580, 677–686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>
- Guevara, A., De La Torre, E., Villegas, A., & Criollo, E. (2009). Uso De La Rizofiltración Para El Tratamiento De Efluentes Líquidos De Cianuración Que Contienen Cromo, Cobre Y Cadmio. *Revista Latinoamericana de Metalurgia Y Materiales*, 1(2), 871–878.
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V., & Borbón, H. (2012). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología En Marcha*, 26(1), 27–36.
- Herrera, T. (2011). La Contaminación Con Cadmio En Suelos Agrícolas. *Venesuelos*, 8(1 y 2), 42–47. Retrieved from [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_venes/article/view/1112](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112)
- Huamaní-Yupanqui, H., Huayra-Rojas, M., Mansilla-Minaya, L., Florida-Rofner, N., & G., N.-T. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agonómica*, 61(4), 399–344.
- Huayra, M., & Huamaní, H. (2014). Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, *Theobroma cacao* L.(Malvaceae). *The Biologist*, 2(1), 45–55.

- Insuasty, L., Burbano, H., & Menjivar, J. (2006). Movilidad del cadmio en suelos cultivados con trigo en Tangua, Nariño, Colombia. *Acta Agonómica*, 55(2).
- Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitoremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145–154. <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Jiménez, C. S. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía y realidad. *Producción + Limpia*, 10(1), 89–104.
- Jing, Y., He, Z., & Yang, X. (2007). Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 8(3), 192–207. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0192>
- Jorhem, L. (2000). Determination of Metals in Foods by Atomic Absorption Spectrometry after Dry Ashing: NMKL Collaborative Study. *Journal of AOAC International*, 83(5), 1204–1211.
- Kabata-Pendias, A. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants Trace Elements in Soils and Plants* (3ra edición). CRC Press, Boca Raton, EE.UU.
- Kacálková, L., Tlustoš, P., & Száková, J. (2009). Phytoextraction of cadmium, copper, zinc and mercury by selected plants. *Plant Soil Environ*, 55(7), 295–304.
- Karami, A., & Shamsuddin, Z. (2010). Phytoremediation of heavy metals with several efficiency enhancer methods. *African Journal of Biotechnology*, 9(25), 3689–3698.
- Kidd, P., Becerra, C., García, M., & Monterroso, C. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas*, 16(2), 1–18.
- Labra-Cardón, D., Guerrero-Zuñiga, L., Rodríguez-Tovar, A., Montes-Villafán, S., Pérez-Jiménez, S., & Rodríguez-Dorantes, A. (2012). Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de *Cyperus elegans* Y *Echinochloa polystachya* inoculadas con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 28(1), 7–16.

- 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). Respostas fisiológicas e anatômicas de plantas jovens de eucalipto expostas ao cádmio. *Revista Árvore*, 35(5), 997–1006.
- Leiva, E. (2012). Aspectos para la Nutrición del Cacao *Theobroma cacao* L. *Facultad de Ciencias Agrarias*, 1–13.
- Lemus, M., Salazar, R., Lapo, B., & Chung, K. (2016). Metalotioneinas en bivalvos marinos. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(2), 202–215. <https://doi.org/10.3856/vol44-issue2-fulltext-2>
- 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.
- Londoño-Franco, L., Londoño-Muñoz, P., & Muñoz-García, F. (2016). Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- López, S., Melaj, M., Tomellini, G., & Martin, O. (2014). Rizofiltración en el tratamiento de aguas contaminadas con uranio. *Comisión Nacional de Energía Atómica*, (1), 1–6.
- Machado, G., & León, M. (2005). Selección del tamaño de parcela de muestreo para el inventario de los Bosques Pluvialbosques en Guantánamo. *Centro de Información Y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba*, (3), 1–11.
- Marbán, L., de López, L., Ratto, S. E., & Agostini, A. (1999). Contaminación con metales pesados en un suelo de la cuenca del río Reconquista. *Ecología Austral*, (9), 15–19.
- Marrero-Coto, J., Amores-Sánchez, I., & Coto-Pérez, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 46(3), 52–61. <https://doi.org/ISSN: 0138-6204>



- Martínez, K., Souza, V., Bucio, L., Gómez, L., & Gutiérrez, M. (2013). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta Toxicológica Argentina*, 21, 33–49. Retrieved from [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-37432013000100004](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432013000100004)
- 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.
- Martins, A., Do Amaral, N., Dos Santos, F., Lima, M., Tolón-Becerra, A., & Da Silva, L. (2014). EDTA-induced phytoextraction of lead and barium by brachiaria ( *B. decumbens* cv . Basilisk ) in soil contaminated by oil exploration drilling waste. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 36(4), 495–500. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i4.18172>
- Mayor-Oxilia, R. (2010). Estrés Oxidativo y Sistema de Defensa Antioxidante. *Revista Del Instituto de Medicina Tropical*, 5(2), 23–29.
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., & García, F. P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 29–44. <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.
- Ministerio del Ambiente-Perú. (2013). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo*. Lima.
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., 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.
- Moosavi, S., & Seghatoleslami, M. (2013). Pytoremediation: A review. *Advance in Agriculture and Biology*, 1(1), 5–11. Retrieved from <http://pscipub.com/Journals/Data/JList/Advance in Agriculture and>

- Morales, J., García, A., & Méndez, E. (2006). ¿Qué sabe usted acerca de... Cacao? *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 37(1), 45. <https://doi.org/1870-0195>
- Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 140–147.
- Negaresh, S., & Marín, I. (2013). El cacao y la salud humana: propiedades antioxidantes del cacao nicaragüense y productos alimenticios comercializados. *Agroforestería En Las Américas*, (49), 93–98.
- Núñez, A., Martínez, S., Moreno, S., Cárdenas, M. L., García, G., Hernández, J. L., ... Castillo, I. (2008). Determinación de metales pesados en rábano (*Raphanus sativus* L.), brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) y calabacín (*Cucurbita pepo* L. var. *italica*). *Laboratorio de Química Analítica*.
- Orchard, C., León-Lobos, P., & Ginocchio, R. (2009). Phytostabilization of massive mine wastes with native phylogenetic resources: potential for sustainable use and conservation of the native flora in north-central Chile. *Ciencia E Investigación Agraria*, 36(3), 329–352.
- Ortega, S., Páez, G., Fera, T., & Muñoz, J. (2017). Climate change and the risk of spread of the fungus from the high mortality of *Theobroma cocoa* in Latin America. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 30–40. <https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1266072>
- Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Arteaga, R., & Zermeño-González, A. (2012). *Fitorremediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados*. Centro de Investigación en Química Aplicada. Coahuila-México.
- Ortíz, R., & Aranibar, M. (2015). Plantas acumuladoras de metales en relaves mineros del altiplano de la región Puno. *Revista Científica "Investigación Andina,"* 15(2), 96–107.
- Peláez-Peláez, M., Bustamante, J., & Gómez, E. (2016). Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de *Brachiria* en el Magdalena Medio Colombiano. *Revista Luna Azul*, (43), 82–101. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.5>

- 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.
- Pérez, A., García, R., Vázquez, A., Colinas, T., Pérez, M., & Navarro, H. (2008). Concentration of Pb, Cd, Ni, and Zn in Polluted Soils and their Transference to Broccoli Heads. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 215–225.
- Pernía, B., De Sousa, A., Reyes, R., & Castrillo, M. (2008). Biomarcadores de Contaminación por Cadmio en las Plantas. *Interciencia*, 33(2), 112–119.
- Pizarro, R., Flores, J., Tapia, J., Valdés-Pineda, R., Gonzáles, D., Morales, C., ... León, L. (2016). Forest species in the recovery of soils contaminated with copper due to mining activities. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 22(1), 29–43. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.06.026>
- Programa para el Desarrollo de la Amazonía [PROAMAZONIA]. (2003). *Caracterización De Las Zonas Productoras de cacao en Perú y su competitividad*. Lima. Retrieved from <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales->
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de La Facultad de Medicina*, 64(1), 51–64.
- Regalado, I., Leiseca, A., Cabrera, Y., Franco, F., & Bulnes, C. (2014). Cambios anatómicos en la especie *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 37–42. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=102021165&lang=es&site=ehost-live>
- República de Colombia. (2015). *CULTIVO DE CACAO (Theobroma cacao L.) FEDECACAO*.
- Reyes, M. (2010). Comportamiento de los metales pesados en el suelo. *Revista Épsilon*, (15), 181–189.

- Reyes, M., & Avendaño, G. (2013). Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo. *Rev.esc.adm.neg.*, (72), 66–75.
- Reyes, M., & Barreto, L. (2011). Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. *Revista Épsilon*, (16), 31–45.
- Reynaldo, T., & Mollinedo, P. (2016). Inhibitory Capacity of Filtrates from *Trichoderma Inhamatum* and *Caiothora Andina* Over Phytopathogens of *Theobroma Cacao*. *Revsita Boliviana de Química*, 33(3), 116–126.
- Rodríguez-Serrano, M., Martínez-De la Casa, N., Romero-Puertas, M., Del Río, L., & Sandalio, L. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas*, 17(3), 139–146.
- Ruiz, J. (2011). Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2), 233–243.
- Sabath, E., & Robles-Osorio, M. L. (2012). Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados. *Revista Nefrología*, 32(3), 279–286. <https://doi.org/10.3265/Nefrologia.pre2012.Jan.10928>
- Sánchez, M., & Rengifo, J. (2017). Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga, Huánuco (Perú). *Revista de Investigación Agroproducción Ssutetable*, 1(1), 87–94. <https://doi.org/10.25127/aps.201701.0>
- Sánchez, N., Subero, N., & Rivero, C. (2011). Determinación de la adsorción de cadmio mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. *Acta Agonomica*, 60(2), 190–197.
- Sánchez-Mora, F., Medina-Jara, M., Díaz-Coronel, G., Ramos-Remache, R., Vera-Chang, J., Vásquez-Morán, V., ... Garcés-Fiallos, R. (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Rev. Fitotec. Mex.*, 38(3), 265–274.
- Sánchez-Mora, F., Zambrano, J., Vera, J., Ramos, R., Gárces, F., & Vásquez, G. (2014). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de los ríos, Ecuador. *Dirección de Investigación Científica Y Tecnológica*, 7(1), 33–41.

- Satarug, S., Garrett, S., Sens, M. A., & Sens, D. (2010). Cadmium, environmental exposure, and health outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 118(2), 182–190. <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.
- Tirado, L., González-Martínez, F., Martínez, L., Wilches, L., & Celedón-Suárez, J. (2015). Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en salud. *Rev. Nac. Odontol.*, 85. <https://doi.org/10.16925/od.v11i21.895>
- Trópicos. (2017). *Trópicos: catálogo del jardín botánico de Missouri*. Retrieved from [www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)
- Unión Europea, U. E. (2014). *Metales pesados. Union Europea. Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios*.
- Valderrama, A., Carvajal, D., Peñailillo, P., & Tapia, J. (2016). Accumulation capacity of cadmium and copper and their effects on photosynthetic performance in *Azolla filiculoides* Lam. under induced rhizofiltration. *Gayana Bot.*, 73(2), 283–291.
- Waizel-Haiat, S., Waizel-Bucay, J., Magaña-Serrano, J., Campos-Bedoya, P., & Esteban-Sosa, J. (2012). Cacao y chocolate: seducción y terapéutica. *Anales Médicos*, 57(3), 236–245.
- Zalewska, M., & Nogalska, A. (2014). Phytoextraction potential of sunflower and white mustard plants in zinc-contaminated soil. *Chilean Journal of Agricultural Research (CHILEANJAR)*, 74(4), 485–489. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000400016>

# **ANEXOS**

**Anexo 1: puntos de georreferenciación de la parcela de estudio.**

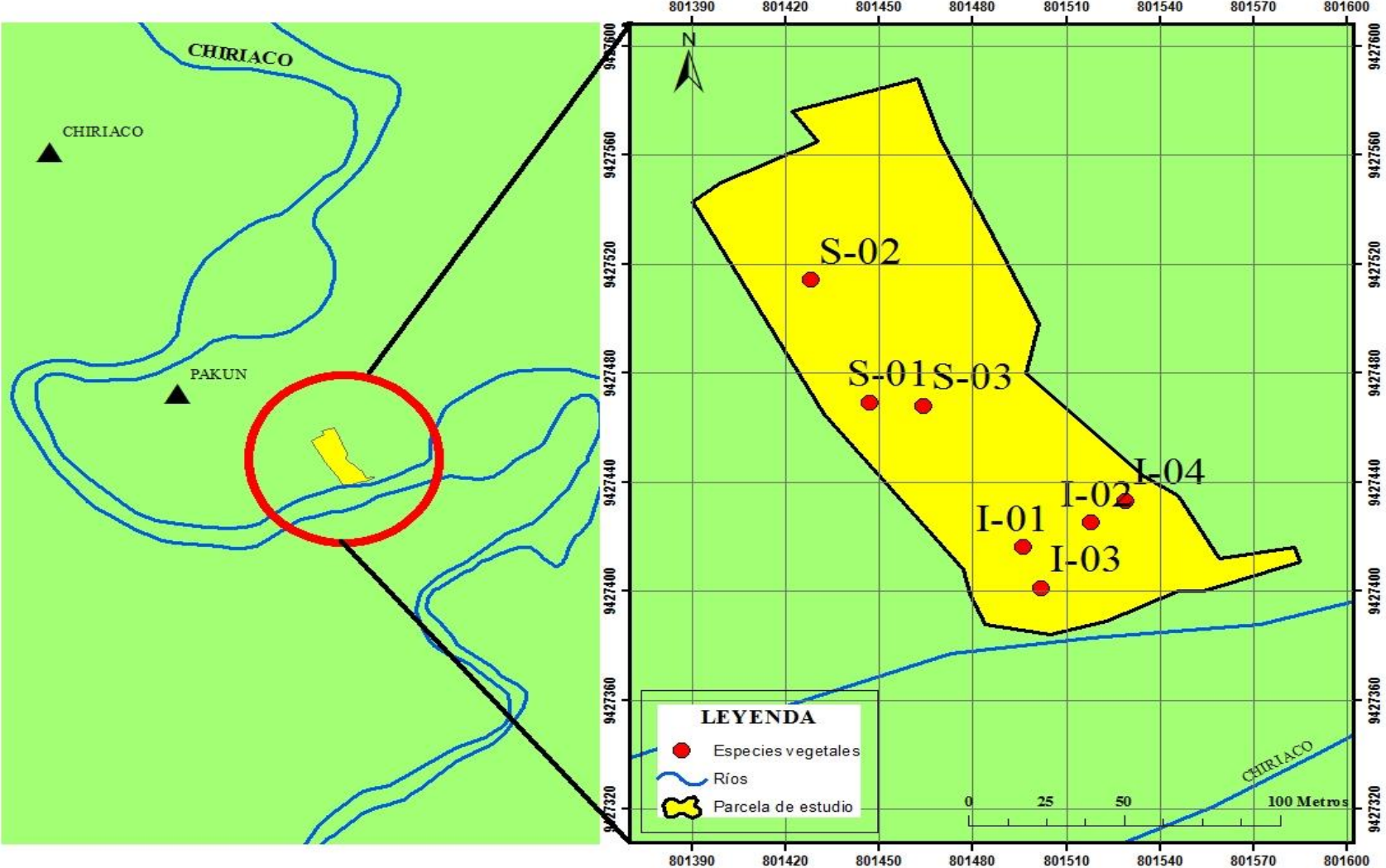
<b>Nombre</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Altura (msnm)</b>
área p3 09:41:20	801523	9427389	295
área p3 09:37:40	801477	9427408	299
área p3 09:39:14	801484	9427388	299
área p3 09:40:37	801505	9427384	295
área p3 09:43:16	801585	9427411	293
área p3 09:44:27	801559	9427412	298
área p3 09:45:12	801546	9427435	299
área p3 09:38:28	801479	9427399	298
área p3 09:43:42	801583	9427416	293
área p3 09:42:05	801546	9427400	295
área p3 09:42:34	801554	9427400	297
área p3 09:33:41	801535	9427442	292
área p3 09:23:15	801399	9427550	300
área p3 09:07:03	801497	9427480	318
área p3 09:22:33	801390	9427543	301
área p3 09:00:28	801462	9427588	303
área p3 09:06:05	801501	9427498	318
área p3 09:25:34	801422	9427576	308
área p3 09:58:27	801430	9427565	314
área p3 09:03:12	801470	9427565	299
área p3 09:04:37	801485	9427533	297
área p3 09:15:13	801432	9427465	317

**Anexo 2: puntos de georeferenciación de las especies vegetales seleccionadas.**

<b>Nombre</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Altura (msnm)</b>
I-01	801496	9427416	295
I-02	801518	9427425	293
I-03	801502	9427401	297
I-04	801529	9427433	300
S-01	801447	9427469	315
S-02	801428	9427514	310
S-03	801464	9427468	317



Anexo 3: mapa de ubicación de las especies vegetales muestreadas



**Anexo 4: datos de la concentración de cadmio total en las muestras botánicas de cada una de las especies vegetales evaluadas.**



**INFORME TÉCNICO N° 0715- 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**  
1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : CESAR JULIAN GONZA SAAVEDRA  
1.2 D.N.I : 43165964
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**  
2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017  
2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE CADMIO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**  
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 02 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTA

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: I-01
HOJA	I-01-Hoja
TALLO	I-01-Tallo

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000  
Mufia DAIHAN SCIENTIFIC
8. **RESULTADO**

ESTRUCTURA DE PLANTA	RESULTADOS (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
I-01-Hoja	0.218	AOAC 999.11
I-01-Tallo	0.197	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**  
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quím. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0728- 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : CESAR JULIAN GONZA SAAVEDRA
  - 1.2 D.N.I : 43165964
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE CADMIO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTA

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: I-02
HOJA	I-02-Hoja
TALLO	I-02-Tallo
RAÍZ	I-02 Raiz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000  
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC

8. **RESULTADO**

ESTRUCTURA DE PLANTA	RESULTADOS (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
I-02-Hoja	0.061	AOAC 999.11
I-02-Tallo	0.076	
I-02 Raiz	0.219	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Quim. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI



M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0730 – 17 – LAB. 12

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : CESAR JULIAN GONZA SAAVEDRA
  - 1.2 D.N.I : 43165964
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANALISIS DE CADMIO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTA

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: I-03
HOJA	I-03-Hoja
TALLO	I-03-Tallo
RAÍZ	I-03 Raíz

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000  
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. RESULTADO

ESTRUCTURA DE PLANTA	RESULTADOS (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
I-03-Hoja	< 0.008*	AOAC 999.11
I-03-Tallo	0.070	
I-03 Raíz	0.297	

\*El límite de detección de Cadmio del equipo es 0.008

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO  
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Quím. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

  
Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

  
M.Sc. Otilia Achá de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0732 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : CESAR JULIAN GONZA SAAVEDRA
  - 1.2 D.N.I : 43165964
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE CADMIO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTA

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: I-04
HOJA	I-04-Hoja
TALLO	I-04-Tallo
RAÍZ	I-04 Raíz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000  
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. **RESULTADO**

ESTRUCTURA DE PLANTA	RESULTADOS (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
I-04-Hoja	< 0.008*	AOAC 999.11
I-04-Tallo	< 0.008*	
I-04 Raíz	< 0.008*	

\*El límite de detección de Cadmio del equipo es 0.008

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**  
Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

*Natalia*

Quim. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

*Fiorella*

Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI



*Otilia*  
M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0727 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
- 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : CESAR JULIAN GONZA SAAVEDRA  
1.2 D.N.I : 43165964
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
- 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017  
2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE CADMIO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
- 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTA

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: S-01
HOJA	S-01-Hoja
TALLO	S-01-Tallo
RAÍZ	S-01 Raíz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000  
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. **RESULTADO**


ESTRUCTURA DE PLANTA	RESULTADOS (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
S-01-Hoja	0.228	AOAC 999.11
S-01-Tallo	0.093	
S-01-Raíz	0.335	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Quím. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

  
Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

  
M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0729 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : CESAR JULIAN GONZA SAAVEDRA
  - 1.2 D.N.I : 43165964
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE CADMIO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTA

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: S-02
HOJA	S-02-Hoja
TALLO	S-02-Tallo
RAÍZ	S-02 Raíz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000  
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. **RESULTADO**

ESTRUCTURA DE PLANTA	RESULTADOS (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
S-02-Hoja	0.087	AOAC 999.11
S-02-Tallo	0.380	
S-02 Raíz	< 0.008*	

\*El límite de detección de Cadmio del equipo es 0.008

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Quím. Natalia K. Chávez LI.  
Analista  
LABICER – UNI

  
Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

  
M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

INFORME TÉCNICO N° 0729-17- LABICER

Página 1 de 1





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0731 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : CESAR JULIAN GONZA SAAVEDRA
  - 1.2 D.N.I : 43165964
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE CADMIO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTA


ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO: S-03
HOJA	S-03-Hoja
TALLO	S-03-Tallo
RAÍZ	S-03 Raíz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000  
Mufa DAIHAN SCIENTIFIC
8. **RESULTADO**



ESTRUCTURA DE PLANTA	RESULTADOS (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
S-03-Hoja	0.509	AOAC 999.11
S-03-Tallo	0.747	
S-03 Raíz	1.684	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Quím. Natalia K. Chávez Ll.  
Analista  
LABICER – UNI

  
Bach. Fiorella Meoño B.  
Analista  
LABICER – UNI

  
  
M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 0733 – 17 – LAB. 12**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : WILBER OC LLATANCE
  - 1.2 D.N.I : 74449121
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 05 / 2017
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 01 / 06 / 2017
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE CADMIO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 02 MUESTRAS DE ESTRUCTURAS DE PLANTA

ESTRUCTURA DE PLANTA	CÓDIGO
FRUTO	S-03 Fruto
RAÍZ	I-01 Raíz

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25 °C; Humedad relativa: 60 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu AA-7000  
Mufla DAIHAN SCIENTIFIC
8. **RESULTADO**

ESTRUCTURA DE PLANTA	RESULTADOS (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
S-03 Fruto	0.411	AOAC 999.11
I-01 Raíz	0.080	

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Quim. Natalia K. Chávez Li.  
Analista  
LABICER – UNI

  
Bach. Fiorella Meofo B.  
Analista  
LABICER – UNI

  
M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Jefa de Laboratorio  
Responsable de Análisis  
CQP 202

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**Anexo 5: datos de la concentración de cadmio total en las muestras de suelo.**



**INFORME TÉCNICO N° 0304 – 17 – LAB. 12**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : ELI PARIENTE MONDRAGÓN
  - 1.2 DNI : 45670572
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 1.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 20 / 02 / 2017
  - 1.2 FECHA DE ENSAYO : 22 / 02 / 2017
  - 1.3 FECHA DE EMISIÓN : 23 / 02 / 2017
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE CADMIO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 03 MUESTRAS DE SUELO

MUESTRA	CODIFICACIÓN
M1	M <sub>1</sub> – S.INUNDABLE CADMIO UNTRM
M2	M <sub>2</sub> – SSI – UNTRM
M3	M <sub>3</sub> – SSC - UNTRM

5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO N°12 - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 25.0 °C; Humedad relativa: 62%
7. EQUIPO UTILIZADO : ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA SHIMADZU AA-7000

8. RESULTADOS

ANÁLISIS	M1 (ppm)	M2 (ppm)	M3 (ppm)	MÉTODO DE REFERENCIA
Cadmio (Cd)	0.043	0.111	< 0.008	NOM-147-SEMARNAT / SSA1-2004

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

  
Bach. Jesús Utano Reyes  
Analista Químico  
LABICER – UNI

  
MSc Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Firmado por:  
Ing. Sebastián Lazo Ochoa  
CIP 74236

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



## Anexo 6: Panel fotográfico

Ilustración 2: Colecta de muestra de hoja



Ilustración 1: Colecta de muestra de tallo



Ilustración 3: Colecta de muestra de raíz



Ilustración 4: prensado de muestras de las muestras vegetales



Ilustración 5: agregación de alcohol 96° a las muestras vegetales



Ilustración 6: colocación de muestras vegetales en bolsa de polietileno



