

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES NATIVAS ACUMULADORAS
DE CADMIO EN EL CASERÍO DE PICURUYACU ALTO, DISTRITO DE
CASTILLO GRANDE, PROVINCIA DE LEONCIO PRADO, DEPARTAMENTO
DE HUÁNUCO**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

FERNANDEZ ECOBAR ANGIE TATYANA

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 03 de Octubre de 2019, a horas 7:00 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias Ambientales de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, para calificar la Tesis titulada:

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES NATIVAS ACUMULADORAS DE CADMIO EN EL CASERIO DE PICURUYACU ALTO, DISTRITO DE CASTILLO GRANDE, PROVINCIA DE LEONCIO PRADO, DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO

Presentado por la Bachiller **FERNANDEZ ESCOBAR, Angie Tatyana**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, la sustentante queda apta para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 18 de Octubre del 2019


Ing. MSc. **WARREN RIOS GARCIA**
PRESIDENTE


Dr. **LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO**
MIEMBRO


Ing. MSc. **VÍCTOR M. BETETA ALVARADO**
MIEMBRO


Dr. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ**
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES NATIVAS ACUMULADORAS
DE CADMIO EN EL CASERÍO DE PICURUYACU ALTO, DISTRITO DE
CASTILLO GRANDE, PROVINCIA DE LEONCIO PRADO, DEPARTAMENTO
DE HUÁNUCO**

Autor : Angie Tatyana Fernández Escobar

Asesor : Dr. Lucio Manrique de Lara Suárez

Programa de investigación : Ciencia y tecnologías ambientales

Línea de investigación : Biorremediación y recuperación de
ambientes degradados

Eje temático de investigación : Captura y acumulación de metales pesados

Lugar de ejecución : Caserío Picuruyacu Alto

Duración : 6 meses

Financiamiento : S/ 2 000 – Dos mil soles

FEDU : NO
Propio : SI
Otros : NO

2019

DEDICATORIA

A Dios por la vida, fortaleza, sabiduría y por permitirme lograr cada una de mis metas y llenar mi vida de fe y esperanza.

A mi madre, María Escobar, por estar siempre a mi lado, por todos sus esfuerzos y sacrificios, a mi padre Juan Fernández por su apoyo constante. A ustedes, por ser el pilar fundamental y más importante de mi vida.

A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables, escuela profesional de Ingeniería Ambiental, que contribuyó en mi formación personal.
- A mi asesor, el Dr. Lucio Manrique de Lara Suárez por su orientación profesional, comprensión y respaldo del presente trabajo de investigación.
- A la Blga. M Sc. Giovana Vadillo Gálvez por su apoyo para la identificación taxonómica de las especies vegetales y su orientación profesional.
- A mis miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M Sc. Warren Ríos García, Dr. Luis Eduardo Oré Cierro, Ing. M Sc. Victor Manuel Beteta Alvarado, por su apoyo, comprensión y sugerencias ofrecidas en la investigación.
- A mi familia, abuelos, tíos, primos y Sebastián, por llenar mis días de alegría, aconsejarme y brindarme su apoyo.
- A mis amigos incondicionales Jennifer, Krystell, Erick, Mayori, Patricia, Abdiel, Bryan, Junior, por su apoyo moral y académico en toda la vida universitaria y que perdurará a través del tiempo.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. El suelo	4
2.1.1. Funciones del suelo (Marañón, 2016)	5
2.2. Metales pesados	6
2.2.1. Clasificación de los metales pesados	7
2.3. Origen de los metales pesados en el suelo.....	8
2.3.1. Origen natural.....	8
2.3.2. Origen antrópico	10
2.4. Contaminación de los suelos por metales pesados	13
2.4.1. Contaminación difusa	13
2.4.2. Contaminación puntual	13
2.4.3. Suelos agrícolas y su contaminación.....	14

2.5. Cadmio.....	15
2.5.1. Fuentes de cadmio	16
2.5.2. Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para cadmio en el suelo.....	18
2.5.3. Ingreso, transporte y acumulación del cadmio en planta.....	18
2.5.4. Toxicidad del cadmio en la planta.....	19
2.5.5. Contenido de cadmio en el cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	20
2.6. Fitorremediación.....	22
2.6.1. Tecnologías de la fitorremediación	22
2.6.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación	23
2.6.3. Factores que influyen en la fitorremediación de suelos	25
2.7. Absorción y translocación de metales pesados en las plantas	26
2.7.1. Absorción.....	26
2.7.2. Translocación	27
2.7.3. Acumulación	27
2.8. Bioacumulación de los metales pesados	27
2.8.1. Especies vegetales hiperacumuladoras	28
2.8.2. Especies vegetales acumuladoras	28
2.8.3. Especies vegetales tolerantes	29

2.8.4. Especies vegetales exclusoras.....	29
2.9. Disposición final de los metales a través de la fitominería	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Ubicación del lugar de estudio	30
3.1.1. Ubicación política.....	30
3.1.2. Ubicación geográfica	30
3.2. Características ambientales de la zona de estudio	31
3.3. Materiales y equipos	31
3.3.1. Materiales de campo	31
3.3.2. Materiales de laboratorio	31
3.3.3. Equipos.....	31
3.3.4. Software	32
3.4. Metodología	32
3.4.1. Identificación y caracterización morfológica de las especies vegetales nativas.....	32
3.4.2. Clasificación de las especies vegetales nativas de acuerdo a su capacidad de acumulación de cadmio	37
3.5. Tipo y nivel de investigación	40
3.5.1. Tipo de investigación.....	40

3.5.2. Nivel de investigación	40
3.5.3. Variables de investigación	40
3.5.4. Diseño de investigación.....	41
IV. RESULTADOS	42
4.1. Identificación y caracterización morfológica de las especies vegetales nativas.....	42
4.1.1. Muestreo de especies vegetales nativas	42
4.1.2. Identificación de las especies vegetales nativas	43
4.1.3. Caracterización morfológica de las especies vegetales nativas.....	43
4.2. Clasificación de las especies vegetales nativas de acuerdo a su capacidad de acumulación de cadmio	55
4.2.1. Contenido de cadmio de las especies vegetales colectadas	55
4.2.2. Clasificación de las especies vegetales colectadas.....	58
4.2.3. Factor de bioacumulación.....	58
4.2.4. Factor de translocación	60
4.2.5. Clasificación de las especies vegetales.....	61
V. DISCUSIÓN.....	62
VI. CONCLUSIONES	65

VII. RECOMENDACIONES.....	66
VIII. ABSTRACT	67
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Principales funciones de los micronutrientes.....	7
2. Concentración de metales pesados (mg/Kg) en diferentes materiales originarios	9
3. ECA – SUELO para compuestos inorgánicos	18
4. Mecanismos de fitorremediación.....	23
5. Ventajas y desventajas de la fitorremediación	24
6. Modelo de ficha de evaluación	34
7. Características morfológicas	35
8. Clasificación de especies vegetales	38
9. Registro de las especies vegetales colectadas	42
10. Identificación de las especies vegetales.....	43
11. Análisis de cadmio total en las especies vegetales colectadas.....	56
12. Cálculo del factor de bioacumulación	59
13. Cálculo del factor de translocación.....	60
14. Clasificación de las especies vegetales	61
15. Codificación de especies vegetales colectadas para el análisis fisicoquímico.....	74

16.	Características cuantitativas in situ	74
17.	Porcentaje de humedad en el vástago de las especies vegetales	75
18.	Porcentaje de humedad para el sistema radicular de las especies vegetales	76
19.	Biomasa para el vástago de las especies vegetales	77
20.	Biomasa en el sistema radicular de las especies vegetales	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Funciones del suelo.....	5
2. Procesos y componentes del suelo que controlan la movilidad de los metales pesados.....	12
3. Esquema del ciclo biogeoquímico de los metales pesados en el sistema agrario	14
4. Producción de cacao en Huánuco.....	21
5. Área de estudio	30
6. Diagrama de muestreo en cada zona.....	32
7. <i>Browallia americana</i>	44
8. <i>Cyathula prostrata</i>	45
9. <i>Philoglossa mimuloides</i>	47
10. <i>Cyperus simplex</i>	48
11. <i>Commelina difusa</i>	49
12. <i>Ageratina cf azangaroensis</i>	50
13. <i>Borreria prostrata</i>	51
14. <i>Euphorbia heterophylla</i>	52
15. <i>Diodia alata</i>	54

16. Concentración de cadmio (ppm) en la raíz, vástago y suelo para <i>Browallia americana</i> , <i>Cyathula prostrata</i> y <i>Philoglossa mimuloides</i>	57
17. Concentración de cadmio (ppm) en la raíz, vástago y suelo para <i>Cyperus simplex</i> , <i>Commelina difusa</i> y <i>Ageratina cf azangaroensis</i>	57
18. Concentración de cadmio (ppm) en la raíz, vástago y suelo para <i>Borreria prostrata</i> , <i>Euphorbia heterophylla</i> y <i>Diodia alata</i>	58
19. Altura total (cm) de las especies identificadas	78
20. Altura de raíz (cm) de las especies identificadas	78
21. Diámetro del tallo (cm) de las especies identificadas	79
22. Humedad (%) en el vástago de las especies identificadas	79
23. Humedad (%) en el sistema radicular de las especies identificadas	80
24. Parcela agrícola de cacao del caserío Picoruyacu Alto ubicado en el distrito de Castillo Grande	80
25. Medición para realizar la calicata para muestreo de suelo	81
26. Calicata de 10 cm (ancho) x 10 cm (largo) x 30 cm (profundidad)	81
27. Submuestras del suelo	82
28. Homogenización de las submuestras para obtener una sola	82

29. Submuestras de suelo tamizado y homogenizado para el análisis de contenido de cadmio.....	83
30. Filtración de las muestras después de la centrifugación	83
31. Extracto de las muestras para su análisis de contenido de cadmio en el espectrofotómetro de absorción atómica	84
32. Colecta de especies vegetales herbáceas	84
33. Recolección de datos morfológicos de las especies vegetales	85
34. Pesado del vástago y sistema radicular de las especies vegetales	85
35. Secado en la estufa para el peso en seco de las especies vegetales	86
36. Certificación de especies vegetales	87
37. Análisis de cadmio en el suelo de Picuruyacu Alto.....	88
38. Análisis de cadmio en el vástago de las especies vegetales	89
39. Análisis de cadmio en la raíz de las especies vegetales	90
40. Ficha de evaluación de las especies vegetales.....	91

RESUMEN

La contaminación por metales pesados es uno de los problemas ambientales más serios de la actualidad. La fitorremediación, es una técnica emergente, de bajo costo, que usa las propiedades de las plantas para acumular o tolerar los metales pesados y que puede ser usada para remediar áreas contaminadas. El objetivo de este trabajo es identificar las especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto, de la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Se colectaron cuatro individuos por cada especie vegetal herbácea encontrada, para el análisis fisicoquímico, morfológico y la identificación, las muestras incluyeron el vástago (tallo, hoja, flor y semillas) y el sistema radicular (raíz). Se han identificado siete especies vegetales nativas tolerantes, *Browallia americana* de la familia solanaceae, *Philoglossa mimuloides* y *Ageratina cf azangaroensis* de la familia asteraceae, *Commelina difusa* de la familia commelinaceae, *Borreria prostrata* y *Diodia alata* de la familia de las rubiaceae, *Euphorbia heterophylla* de la familia euphorbiaceae, por otro lado, se han identificado dos especies vegetales nativas acumuladoras, *Cyathula prostrata* de la familia amaranthaceae y *Cyperus simplex* de la familia cyperaceae.

Palabras claves: Fitorremediación, acumuladora, tolerante, *Cyathula prostrata*, *Cyperus simplex*, vástago, sistema radicular.

I. INTRODUCCIÓN

La característica bioacumuladora del cadmio, constituye un riesgo potencial para la salud, debido a que es un metal pesado que se puede encontrar de manera natural en la corteza terrestre, de donde puede ser absorbido por las especies vegetales, para posteriormente ser tomado de ellas por el ser humano. Este problema se refleja principalmente en el *Theobroma cacao* L. “cacao” cultivado en todo el país y que a su vez es reconocida internacionalmente como Patrimonio Natural de la Nación (BAUTISTA, 2013).

Según el Ministerio de Agricultura, en la actualidad existen en el Perú más 150 mil hectáreas cultivadas de cacao y se ha sobrepasado las 80 mil toneladas de producción anual. La producción de cacao representa una gran importancia socio económica para el Perú, puesto que, ocupamos el segundo lugar en el mundo como exportador de cacao orgánico, destacando el departamento de Huánuco por su producción en el año 2016 con alrededor de 6000 toneladas. Sin embargo, en los últimos años se ha registrado una gran preocupación en la cadena de comercio del cacao debido a la presencia de cadmio en sus semillas, tal es el caso de los centros poblados de la provincia de Leoncio Prado, donde según la investigación realizada por HUAYNATES (2013), las concentraciones de cadmio en esos suelos oscilan entre 1.50 – 3.50 ppm.

Por todo ello es muy importante conocer y estudiar la contaminación de cadmio en nuestros suelos, empleando tecnologías de bajo costo y de fácil acceso y que a su vez eviten la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas cercanas, tal es el caso de las técnicas de fitorremediación, en las que no se usan agentes químicos, poseen costos de implementación más bajos y su aplicación es muy sencilla.

La fitorremediación incluye la fitoextracción, un tipo de tecnología que se basa en la capacidad de transferir metales pesados de la raíz hacia la parte aérea de un cierto grupo de especies vegetales, acumulando concentraciones de metales pesados en sus tejidos vegetales, pero que, además no generan toxicidad en la planta (BERNAD, 2014). Una vez que la planta es cosechada, los metales son también removidos, para posteriormente, ser recuperados desde la biomasa vegetal, proceso que se tiene por nombre fitominería.

La producción de la biomasa vegetal y de la tolerancia de la planta a los metales pesados limitan la eficiencia de la fitoextracción (CHAVEZ, 2014), por lo que, las investigaciones sobre la identificación de estas especies y que además contengan una alta biomasa son de gran interés para el desarrollo de estas tecnologías. Además, es importante recalcar que es indispensable el uso de especies vegetales nativas, debido a que estas especies están adaptadas a factores ambientales de la zona, por otro lado, el uso de especies exóticas representan un peligro para la biodiversidad.

Por consiguiente se plantea la interrogante ¿Cuántas especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio se identificarán en el caserío de Picuruyacu Alto en el distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado del departamento de Huánuco?

Planteándose como hipótesis; Se identificarán al menos una especie vegetal nativa acumuladora de cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto en el distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado del departamento de Huánuco.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Identificar las especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío Picuruyacu Alto, distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado del departamento de Huánuco.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar la identificación y caracterización morfológica de las especies vegetales nativas encontradas.
- Clasificar las especies vegetales nativas de acuerdo a su capacidad de acumulación de cadmio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El suelo

La palabra suelo proviene del latín *solum*, que significa suelo, tierra o parcela, y tradicionalmente ha sido entendido como el “medio natural en el que crecían las plantas terrestres” (BAUTISTA, 2013). Dicha definición está ligada al uso tradicional del suelo como medio de cultivo y, por tanto, a una visión más productivista de éste. Sin embargo, el concepto de suelo ha ido evolucionando en el tiempo, adquiriendo una visión más amplia e integrando aspectos no sólo productivistas, de manera que actualmente su definición es muy extensa y variada, y depende de la perspectiva desde la cual se observe (BERNAD, 2014).

En el ámbito de las ciencias naturales, y de un modo genérico, el suelo es la “capa superior y/o exterior de la corteza terrestre, la cual es el resultado de los efectos combinados del clima, organismos vivos, roca madre, relieve y tiempo”. El medio edáfico puede considerarse un sistema abierto y dinámico, tanto en el tiempo como en el espacio, a través del cual se producen y regulan diferentes flujos de materias y energías (BAUTISTA, 2013).

Según SACRISTÁN (2015), la combinación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas permite el desarrollo de sus funciones básicas (Figura 1).

2.1.1. Funciones del suelo (MARAÑÓN, 2016)

- Medio físico donde se desarrolla toda actividad en el medio terrestre, es decir, desarrolla una función de soporte.
- Medio histórico, ya que contiene el registro de procesos pasados.
- Ejerce de hábitat y soporte biológico y sirve de sustento para el crecimiento de numerosas especies.



Fuente: SACRISTÁN (2015).

Figura 1. Funciones del suelo

- Es fuente de materias primas necesarias para la comunidad humana.
- Actúa como productor de biomasa.

- El medio edáfico presenta una función reguladora que influye en el intercambio de componentes entre la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera. Manifestada principalmente a través de los procesos de filtración, amortiguación y transformación de los diferentes elementos y compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos, los cuales se producen como consecuencia de los diferentes procesos biogeoquímicos del suelo.

2.2. Metales pesados

Según JIMÉNEZ (2015), el término metal pesado hace referencia a todo aquel elemento metálico que presenta una densidad superior a 6 g/cm^3 , cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los alcalinos y alcalinotérreos).

En las últimas décadas, el término metal pesado ha sido utilizado en varias publicaciones y legislaciones relacionadas con el peligro químico y el uso adecuado/inadecuado de productos químicos, empleándolo para identificar/denominar un grupo de metales y metaloides asociados a la contaminación y a problemas de toxicidad o ecotoxicidad (SACRISTÁN, 2015). Algunos autores consideran esta acepción ambigua, puesto que relaciona el término metal pesado con elementos tóxicos y contaminantes.

Por esta razón, suele adoptarse la denominación de “elemento o metal traza” para hacer referencia a todos los elementos presentes en el medio ambiente en un rango de concentración entre 0.01-100 mg/kg (SACRISTÁN,

2015), donde se incluirían tanto elementos esenciales como elementos contaminantes.

2.2.1. Clasificación de los metales pesados

Desde un punto de vista biológico, se pueden distinguir dos grandes grupos (DONRRONSORO, 2015).

Elementos esenciales

Éstos desempeñan un papel primordial en diferentes procesos metabólicos y de síntesis de proteínas, y son requeridos en cantidades pequeñas o muy pequeñas, por lo que superado cierto umbral (característico de cada uno de los metales) pueden ser tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran el Cu, Zn, Ni, Co y Cr (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales funciones de los micronutrientes

Elemento	Función
Cu	Importante papel estructural y funcional
Zn	Constituyente de enzimas proteicas y en la regulación genética
Ni	Vital para el combate de algunas enfermedades
Co	Necesario para la fijación de nitrógeno
Cr	Interviene en el control del azúcar en sangre

Fuente: DONRRONSORO (2015).

Elementos no esenciales

El segundo grupo engloba a aquellos metales que no tienen ninguna función biológica conocida y, por tanto, no producen fenómenos de deficiencia cuando se encuentran a bajas concentraciones.

Como en el caso de los elementos esenciales, estos metales son tóxicos cuando se supera cierto nivel umbral. Sin embargo, dicho umbral es mucho más bajo que en los casos anteriores. En este segundo grupo quedarían incluidos el Cd y el Pb (DONRRONSORO, 2015).

2.3. Origen de los metales pesados en el suelo

El origen de los metales pesados en el suelo puede ser natural, proveniente del material originario, o antrópico, procedente de diferentes actividades antrópicas contaminantes (NORDBERG, 2015).

2.3.1. Origen natural

Por un lado, el origen natural de los metales deriva de los procesos de erosión/meteorización del material originario (concentraciones geogénicas).

La presencia de unos metales u otros, y sus respectivos niveles dependen del contenido en metales de dicho material (SACRISTÁN, 2016).

Durante el proceso de formación de los suelos, diferentes procesos de descomposición química afectan a la roca madre o material originario, los

cuales provocan la liberación de algunos de sus constituyentes en forma soluble y la formación de nuevos constituyentes (secundarios) derivados de la reacción química entre algunos productos liberados/meteorizados. Ciertos materiales originarios son ricos en metales pesados (ver cuadro 2), por lo que las concentraciones de éstos en suelos formados a partir de ellos pueden ser altas y en ocasiones tóxicas (NORDBERG, 2015).

Cuadro 2. Concentración de metales pesados (mg/Kg) en diferentes materiales originarios

Elemento	Corteza terrestre	Granito	Basalto	Areniscas	Calizas	Carbón
Cd	0.1	0.1	0.2	<0.04	0.1	1
Pb	17	20	4	10	5	20
Cu	14	12	90	2	6	20
Zn	52	50	100	20	40	50
Ni	19	5	130	2	5	20
Co	12	4	45	0.3	0.1	10
Cr	35	10	250	35	5	20

Fuente: NORDBERG, 2015.

Otras fuentes naturales como las erupciones volcánicas, las cenizas volantes y los incendios incrementan los niveles de metales en el suelo, si bien las dos últimas se pueden ver acentuadas por la actividad humana (PÉREZ, 2004).

Debido a la presencia natural de metales pesados en el suelo y a su variabilidad en éste, resulta necesario el establecimiento de una serie de valores “normales” o “naturales” de concentraciones de estos elementos en el suelo de origen geogénico. Estos valores “normales” son los denominados valores de fondo o fondo geoquímico (PRIETO, 2009).

2.3.2. Origen antrópico

Los contenidos naturales de los metales pesados presentes en el suelo pueden verse incrementados por las actividades antrópicas. De acuerdo con SACRISTÁN (2016), los principales mecanismos de transporte/incorporación de metales pesados desde las diferentes actividades antrópicas hasta el suelo son:

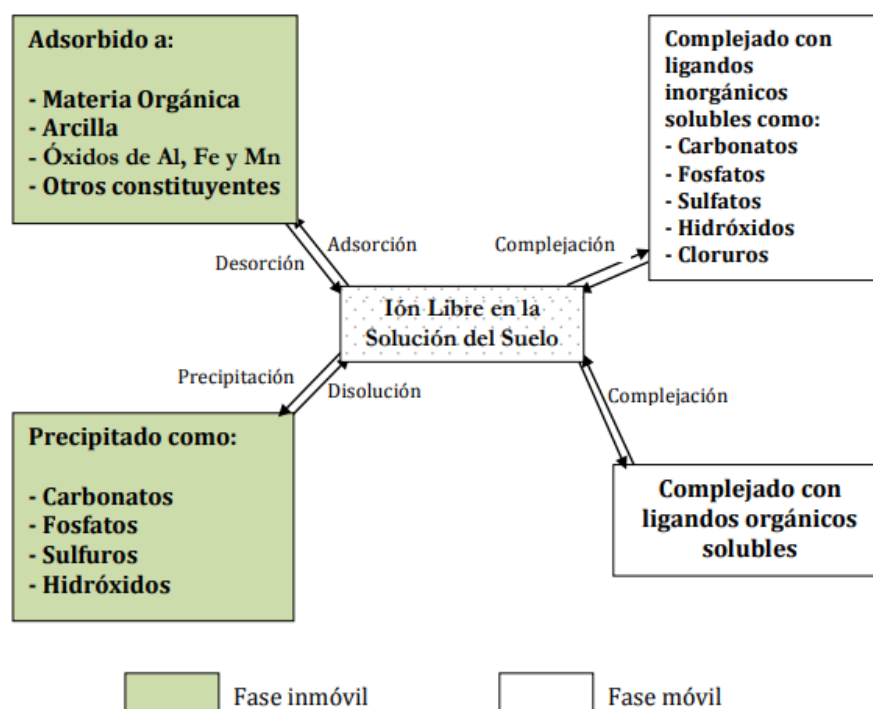
- Transporte a través de corrientes de aire y deposición de polvo, de partículas tamaño aerosol ($< 30 \mu\text{m}$) y de formas gaseosas de los metales, por ejemplo el mercurio (Hg).
- Movimiento de aguas (escorrentía o inundación) seguido de la deposición de los sedimentos con contenido metálico aguas abajo o en las llanuras de inundación.
- Movimiento gravitacional de materiales rocosos ricos en metales o material contaminado de minería.
- Deposición intencionada en los suelos a través de las diferentes prácticas agrícolas e industriales.

Por lo tanto, los metales pesados presentes en el suelo pueden encontrarse en diferentes formas en función de su origen, de las características del metal, de las propiedades edáficas y de las condiciones ambientales. MENDIETA (2015) establece siete posibles estados:

- En la solución del suelo como metal libre, formando complejos o asociados a coloides móviles.
- En las posiciones de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo.
- Adsorbidos específicamente a los constituyentes inorgánicos.
- Adsorbidos a la materia orgánica insoluble.
- Precipitados en forma de carbonatos, fosfatos, hidróxidos, etc.
- En la estructura de los minerales secundarios.
- En la estructura de los minerales primarios.

Los metales pesados que se encuentran de forma natural se pueden presentar en cualquiera de las formas, sin embargo, los que han sido introducidos por actividades humanas se encuentran en los cinco primeros incisos mencionados anteriormente, en función de la formación y evolución del suelo. La concentración de metales pesados en el suelo está gobernada por una gran variedad de procesos, entre los que se incluye la formación de complejos orgánicos e inorgánicos, las reacciones de oxidación-reducción, las reacciones de precipitación-disolución y las reacciones de adsorción-desorción, principalmente (LLUGANY, 2007).

La Figura 2 presenta un esquema de estos procesos y de los componentes del suelo que controlan, de forma directa o indirecta, la fracción adsorbida, precipitada o compleja de metales pesados y la concentración de éstos en la solución del suelo, que puede ser absorbida por las raíces de las plantas o lixiviar hasta el acuífero (LLUGANY, 2007).



Fuente: LLUGANY (2007).

Figura 2. Procesos y componentes del suelo que controlan la movilidad de los metales pesados

Estas reacciones se ven influenciadas y condicionadas por determinados componentes del suelo como, por ejemplo, la materia orgánica, las arcillas, los carbonatos, y algunas características y propiedades del suelo tales como el pH, la capacidad de intercambio catiónico, etc. (KIDD, 2007).

2.4. Contaminación de los suelos por metales pesados

Según VOLKE (2016), la contaminación del suelo se clasifica de acuerdo a las características del foco emisor de contaminantes, siendo estos:

2.4.1. Contaminación difusa

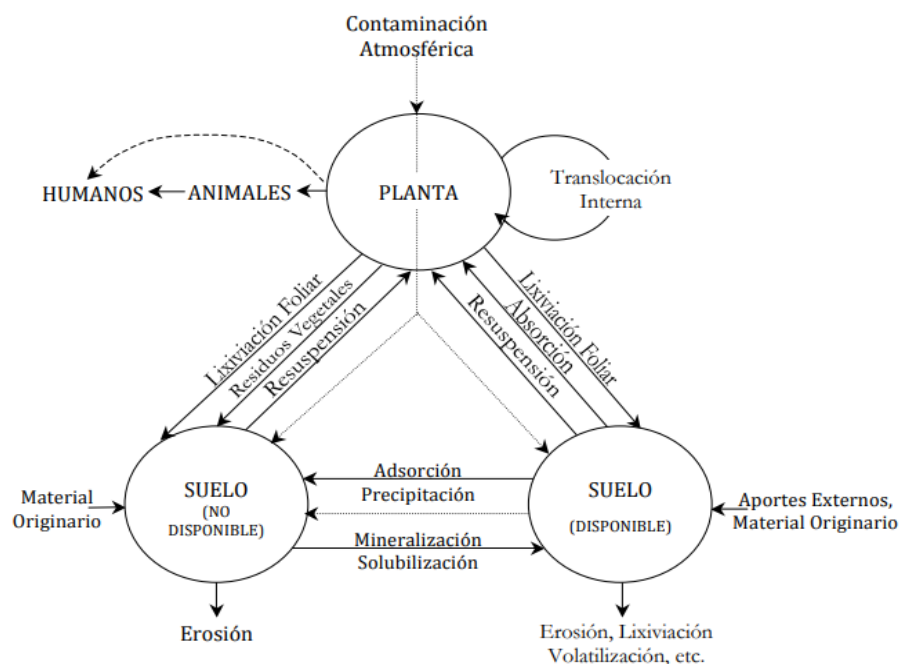
Se encuentran las fuentes de contaminación cuya área de acción es extensa e inespecífica. Se engloba en este grupo la deposición atmosférica, procedente de actividades urbanoindustriales; el aporte por sedimentos fluviales contaminados; y la contaminación derivada de las prácticas agrícolas y ganaderas. La contaminación difusa se caracteriza por un menor aporte de contaminantes por unidad de superficie que la puntual, aunque de extensión y magnitud más importantes (VOLKE, 2016).

2.4.2. Contaminación puntual

La contaminación puntual recoge aquellas fuentes de contaminación que realizan un aporte de metales pesados muy localizado. Las fuentes originarias contaminantes se pueden clasificar en estacionarias y móviles, en función de la disponibilidad móvil del foco contaminante. Se consideran focos estacionarios la actividad urbano-industrial y la actividad minera, capaces de generar residuos sólidos, efluentes líquidos y emisiones gaseosas que pueden incorporar sustancias nocivas al suelo en las zonas próximas al foco emisor si no se lleva a cabo un tratamiento adecuado de las mismas (VOLKE, 2016).

2.4.3. Suelos agrícolas y su contaminación

La presencia de metales pesados en los suelos es común, debido a la presencia de éstos de manera natural en el material originario, y necesaria, ya que muchos de ellos son micronutrientes esenciales para otros organismos. Sin embargo, los aportes externos de origen antrópico aumentan significativamente esas concentraciones, desequilibrando las relaciones internas del suelo y generando así problemas de contaminación (PRIETO, 2009).



Fuente: PRIETO (2009).

Figura 3. Esquema del ciclo biogeoquímico de los metales pesados en el sistema agrario

Los ecosistemas agrarios/suelos agrícolas son especialmente relevantes en este sentido ya que elevadas concentraciones de ciertos metales

pesados puede dar lugar a problemas en el uso de estos suelos. Un aumento de la concentración de metales pesados incrementa la biodisponibilidad de éstos, lo cual facilita su incorporación a la plantas. Dicha incorporación o asimilación puede generar problemas de toxicidad, entendida como los posibles efectos tóxicos sobre la planta y los efectos derivados sobre la producción, y de acumulación de metales, lo cual conlleva un problema de sanidad ambiental a través de la entrada de estos elementos en la cadena trófica (PRIETO, 2009).

2.5. Cadmio

El cadmio es un elemento de naturaleza química muy similar al zinc, ambos pertenecen al grupo 11 de la tabla periódica y es sustituto de éste en forma de impureza en los minerales de zinc, por esto el cadmio es un subproducto de las fundiciones de zinc y otros metales. El cadmio también se presenta como subtítulo del calcio en la apatita y la calcita, pudiendo aumentar sus impurezas en los fertilizantes fosforados. El hecho que el cadmio sea un metal pesado tóxico y zinc sea un elemento esencial hace que de ésta asociación se puedan prevenir los posibles efectos tóxicos de cadmio mediante un tratamiento preventivo con zinc (GALÁN, 2008).

El cadmio es uno de los metales traza del suelo más solubles y peligrosos, debido a su alta movilidad y que en pequeñas concentraciones tiene efectos nocivos en las plantas. Bajo condiciones de reducción precipita

como sulfuro de cadmio, por ellos el contenido de cadmio en arroz es mayor si el cultivo se establece en suelos no anegados (HUAYNATES, 2011).

El comportamiento del cadmio incorporado al suelo; está en función del tipo de reacción química y en los diversos procesos físicos y biológicos que ocurren en el suelo. Las principales reacciones involucradas en las interacciones entre los metales y los componentes del suelo son las de adsorción, precipitación y formación de complejos (DORRONSORO, 2015).

El cadmio puede ser absorbido por las plantas como Cd^{2+} , pudiéndose encontrar en aquellas hortalizas como lechuga, espinacas y apio, que finalmente son consumidas por el hombre (HUAYNATES, 2011).

2.5.1. Fuentes de cadmio

En el Perú, las fuentes de contaminación por cadmio se deben principalmente a las actividades mineras, al uso de fertilizantes fosfatados y a los residuos industriales (CASTEBLANCO, 2018).

Asimismo, el cadmio ha sido catalogado como un metal cancerígeno en el año 1993 por el IARC (International Agency for Research on Cancer), y se le considera pre cancerígeno para el humano cuando este ingiere vegetales contaminados, ya que el cadmio se acumula en distintas concentraciones ya sea en la hoja, grano o raíz. Por lo tanto el problema no sólo radica en la contaminación de aguas, suelos y plantas, a los cuales se exponen las poblaciones, la flora y la fauna; sino que abarca temas de

seguridad alimentaria y atenta contra la salud humana, ya que los efectos negativos pueden ser: anemia, hipertensión, trastornos renales y pulmonares (HUAYNATES, 2011).

Minería

La actividad minera genera grandes cantidades de residuos, los que contienen diversos materiales potencialmente tóxicos, encontrándose dentro de ellos el cadmio en diversas concentraciones (BAUTISTA, 2013).

Actividad agrícola

La roca fosfórica es un mineral utilizado para la elaboración de fertilizante, en las que se encuentra diferentes concentraciones de cadmio.

En los últimos años está siendo utilizado de forma directa en reemplazo de otros fertilizantes comunes, por ser de fácil acceso y además económica (ABANTO, 2016). Según la FAO en el año 2002; el Perú consumió de 65 000 toneladas.

Actividades industriales

La generación e inadecuada disposición final de residuos peligrosos provenientes de actividades industriales relacionadas a la fabricación de hierro, acero y baterías, y la producción de químicos, fármacos, pigmentos y tintes traen consigo diversas concentraciones de cadmio, convirtiéndose en grandes focos de contaminación (ABANTO, 2016).

2.5.2. Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para cadmio en el suelo

El Perú cuenta con normativa reglamentada para cadmio publicada por el Ministerio del Ambiente en el año 2017 y detallada a continuación en el Cuadro 3.

Cuadro 3. ECA – SUELO para compuestos inorgánicos

Parámetros en mg/Kg	Usos del suelo		
	Agrícola	Residencial Parques	Comercial Industrial Extractivo
Arsénico	50	50	140
Bario total	750	500	2000
Cadmio	1.4	10	22
Cromo total	**	400	1000
Cromo VI	0.4	0.4	1.4
Mercurio	6.6	6.6	24
Plomo	70	140	800
Cianuro Libre	0.9	0.9	8

Fuente: MINAM (2017).

2.5.3. Ingreso, transporte y acumulación del cadmio en planta

Se asume que no existen mecanismos de entrada específicos para el cadmio por ser un metal no esencial. En la planta, el cadmio se acumula

preferentemente en la vacuola de las células de la raíz, una vez en la raíz, el cadmio puede pasar al xilema vía apoplasto o simplasto formando complejos y llegando, a los otros órganos de la planta, concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas (CHÁVEZ, 2014).

La absorción por medio de las raíces es la ruta más importante para el ingreso de los metales pesados en la planta, a través de los siguientes mecanismos (DELGADILLO, 2011):

- Intercepción radicular, al ir aumentando el sistema radicular de una planta se va incrementando su volumen radicular y por ello se intercepta un volumen cada vez mayor de solución suelo.
- Flujo de masas, el cual consiste en el movimiento del agua y de los nutrientes de la solución suelo a la raíz.
- Difusión, proceso espontáneo por el que ocurre un movimiento de los iones por una gradiente de potencial químico de una solución de mayor concentración a una menor concentración.

2.5.4. Toxicidad del cadmio en la planta

Las plantas no tienen mecanismos para excretar los iones de cadmio, por lo que las absorben y retienen en sus tejidos.

El cadmio interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (N-NO₃, Ca, Mg, P y K) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta. Además el cadmio altera los

procesos metabólicos normales, disminuyendo la tasa de fotosíntesis y la transpiración, aumentando la frecuencia respiratoria, y modificando la apertura estomática (DIEZ, 2008).

Por otro lado, es importante destacar el tipo de cultivo que se esté manejando, ya que no todas las plantas acumulan cadmio en igual medida.

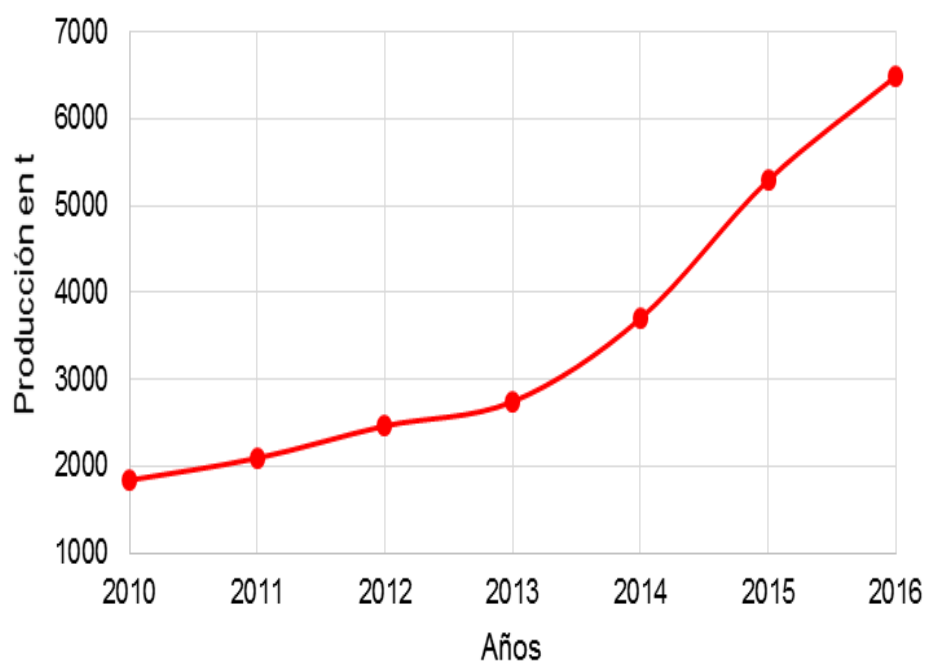
2.5.5. Contenido de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.)

Existe a una gran preocupación en toda la cadena de comercio del cacao a nivel mundial; productor, exportador, importador y consumidor; debido a la presencia de cadmio en las semillas de cacao (JIMÉNEZ, 2015).

La producción de cacao posee una gran importancia socio económica para el Perú, ocupando el segundo lugar en el mundo como exportador de cacao orgánico. Así mismo, es reconocido como uno de nuestros productos bandera por la fina calidad del cacao de origen; además se ha convertido en un tipo de cultivo alternativo para los agricultores nacionales para la mejora de su economía (HUAYNATES, 2011).

En la actualidad, existen en el Perú más 150 mil hectáreas cultivadas de cacao y en el año 2016 se sobrepasaron las 80 mil toneladas de producción anual; la región Huánuco no es ajeno a este crecimiento, puesto que para el mismo año se produjeron más de 6000 toneladas (JIMÉNEZ, 2015).

El problema de la acumulación de cadmio radica principalmente en la ausencia de zinc en el suelo, donde la planta tiende a absorber mayor cadmio usándolo en reemplazo del zinc. La solubilidad del cadmio es mayor a pH más bajo, por lo que se podría variar la disponibilidad de cadmio en suelos controlando su pH (JIMÉNEZ, 2015).



Fuente: MINAGRI (2016).

Figura 4. Producción de cacao en Huánuco

Se debe resaltar que; existen genotipos (variedades de la especie) que presentan una mayor absorción de cadmio en la planta que otras; y que la distribución en una misma planta varía en raíz, tallo y semilla, de acuerdo a la variedad (ABANTO, 2016).

Nuestro país tiene una gran biodiversidad natural de cacao, lo que se podría utilizar como estrategia para el desarrollo de especies resistentes.

2.6. Fitorremediación

El término fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire. Es un término relativamente nuevo, acuñado en 1991.

Se compone de dos palabras, *fito*, que en griego significa planta o vegetal, y *remediar* (del latín *remediare*), que significa poner remedio al daño, o corregir o enmendar algo. Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales (MARRERO, 2012).

De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz (DELGADILLO, 2011).

2.6.1. Tecnologías de la fitorremediación

Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos.

Según DIEZ (2008), dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de limpieza requerido; las tecnologías de fitorremediación se pueden utilizar como medio de contención (rizofiltración,

fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización).

Cuadro 4. Mecanismos de fitorremediación

Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

Fuente: DIEZ (2008).

2.6.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

La fitorremediación, muestra una serie de ventajas y limitaciones en comparación con otras tecnologías convencionales (Cuadro 5).

Las fitotecnologías son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles

de contaminación bajo, y deben considerarse procesos de recuperación a largo plazo (CHÁVEZ, 2014).

Cuadro 5. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
1. Se puede realizar in situ y ex situ.	1. En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.
2. Se realiza sin necesidad de trasportar el sustrato contaminado	2. Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera de la planta.
3. Es una tecnología sustentable	3. Es aplicable en ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.
4. Es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos	4. En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.
5. Es de bajo costo	5. No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
6.No requiere personal especializado para su manejo	6. La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse.
7. No requiere consumo de energía.	
8. Sólo requiere de prácticas agronómicas convencionales.	
9. Es poco perjudicial para el ambiente.	
10. Actúa positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas.	
11. Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa, metales).	

Fuente: CHAVEZ (2014).

2.6.3. Factores que influyen en la fitorremediación de suelos

El éxito de la fitorremediación depende de muchos factores, pero principalmente, el nivel de contaminación del suelo, la accesibilidad de las raíces a los contaminantes (más conocida como biodisponibilidad del metal), y la habilidad de las plantas a interceptar, absorber, acumular y degradar contaminantes (MARRERO, 2012) sin presentar alteraciones en su ciclo de vida (plantas acumuladoras).

Nivel de contaminación en el suelo

Uno de los factores que limita el éxito de la fitorremediación, y que se convierte en una de sus limitantes es el grado de contaminación en el suelo ya que el crecimiento de las plantas no es muy viable en suelos altamente contaminados (PÉREZ, 2004).

Biodisponibilidad del metal pesado

La biodisponibilidad del metal es tal vez el factor más importante que determina el grado de toxicidad de un contaminante, y que se convierte en un factor muy importante para determinar la eficiencia en un proceso de fitorremediación. Su abundancia está relacionada a factores físicos, químicos y biológicos (PÉREZ, 2004).

- Factores físicos: Factores físicos como la textura de suelo influyen considerablemente en la biodisponibilidad del metal.

- Factores biológicos: La asociación de microorganismos asociados a la raíz influyen considerablemente en la biodisponibilidad del metal.
- Factores químicos: Dentro de los factores químicos se incluye el pH del suelo y la presencia de agentes quelantes en el suelo. El pH es considerado como el factor más importante relacionado con la solubilidad de los metales y su estabilidad.

2.7. Absorción y translocación de metales pesados en las plantas

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes, sin embargo, algunos metales no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos (VOLKE, 2016).

2.7.1. Absorción

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimentaria, dependiendo de:

- El movimiento de los metales desde la solución suelo a la raíz.
- El paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz.
- El transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde se transporta de la raíz a los tallos.

- La posible movilización de los metales desde las hojas hacia tejidos de almacenamiento usados como alimento (semillas, tubérculos y frutos) por el floema (NORIEGA, 2016).

2.7.2. Translocación

La translocación es la vía por la que los metales pesados se pueden incorporar del sistema radicular hacia los diversos órganos de la planta, dependiendo de la movilidad en el medio (PRIETO, 2009).

2.7.3. Acumulación

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a acumularse en diferentes cultivos. La acumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (MENDIETA, 2014).

2.8. Bioacumulación de los metales pesados

El éxito de todo programa de fitorremediación va de la mano con una adecuada selección de especies acumuladores de metales. No todas las plantas son aptas para realizar esta labor; sin embargo en el mundo, ya se han identificado por lo menos 400 especies de plantas con el potencial para la remediación de suelos y aguas, destacándose entre ellas especies de los

géneros como *Thlaspi*, *Brassica*, *Sedum alfredii* H., y *Arabidopsis* (LLUGANY, 2007).

2.8.1. Especies vegetales hiperacumuladoras

Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos que son ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. Si bien aún no se tiene muy bien detallado los criterios para establecer a una especie como hiperacumuladora de metales, se toma como base que la planta acumule al menos 1000 mg/Kg del metal en la materia seca de cualquier tejido aéreo y bajo condiciones naturales (KIDD, 2007).

Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (KIDD, 2007).

2.8.2. Especies vegetales acumuladoras

Posee el mismo mecanismo que una hiperacumuladora, sin embargo son menos veloces en la captación de metales por las raíces (bioacumulación), lo transfieren más lentamente al tejido vascular del tallo, y por lo tanto, lo almacenan en menores cantidades en sus hojas y raíces (translocación) (KIDD, 2007).

2.8.3. Especies vegetales tolerantes

Esta clasificación de especies tolerantes no posee la misma capacidad de acumulación, almacenando los metales sobretodo en su raíz.

Este tipo de especie vegetal tolera los metales pesados de forma natural, es decir, no interviene en sus procesos físicos, químicos ni biológicos. Generalmente reflejan el nivel de metal en el suelo (LLUGANY, 2007).

2.8.4. Especies vegetales exclusoras

La exclusión previene la entrada de metales o mantienen baja y constante la concentración de éstos en un amplio rango de concentraciones en el suelo, principalmente restringiendo la acumulación de los metales en las raíces (MENDIETA, 2014).

2.9. Disposición final de los metales a través de la fitominería

Según DIEZ (2008), el término fitominería define la extracción de metales económicamente valiosos como el Ni, mediante la utilización de plantas hiperacumuladoras (fitoextracción), en aquellos lugares donde no se puede producir una extracción del metal por técnicas mineras convencionales, debido a problemas ambientales o económicos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del lugar de estudio

3.1.1. Ubicación política

El presente trabajo de investigación se realizó en una parcela agrícola del caserío de Picuruyacu Alto, distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.



Figura 5. Área de estudio

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente la parcela agrícola del caserío de Picuruyacu Alto está ubicado en las coordenadas UTM 386428 m E y 8974717 m N y 734 m de

altitud, dentro de la hoja 19-k de la carta nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

3.2. Características ambientales de la zona de estudio

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2018) y la Estación Meteorológica “Abelardo Quiñones” (2018) de Tingo María, la zona de estudio presenta un clima tropical, con una temperatura media de 24°C, precipitación de 3352.9 mm anual y una humedad relativa de 76.55%.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales de campo

Bolsas impermeables de 2 kg, mantada de plástico, etiquetas para rotular, cinta métrica de 1 m, 5 m y 50 m, plumón indeleble, pala, lampa, machete, prensa botánica, tijeras, cinta adhesiva, estacas y fichas de evaluación.

3.3.2. Materiales de laboratorio

Placa Petri, mortero de porcelana, vasos precipitados 50 ml, matraz herlenmeyer de 250 ml, tamizador de 10 mm, probeta.

3.3.3. Equipos

GPS GARMIN 62S, estufa MEMMERT, balanza analítica HENKEL y cámara fotográfica SONY.

3.3.4. Software

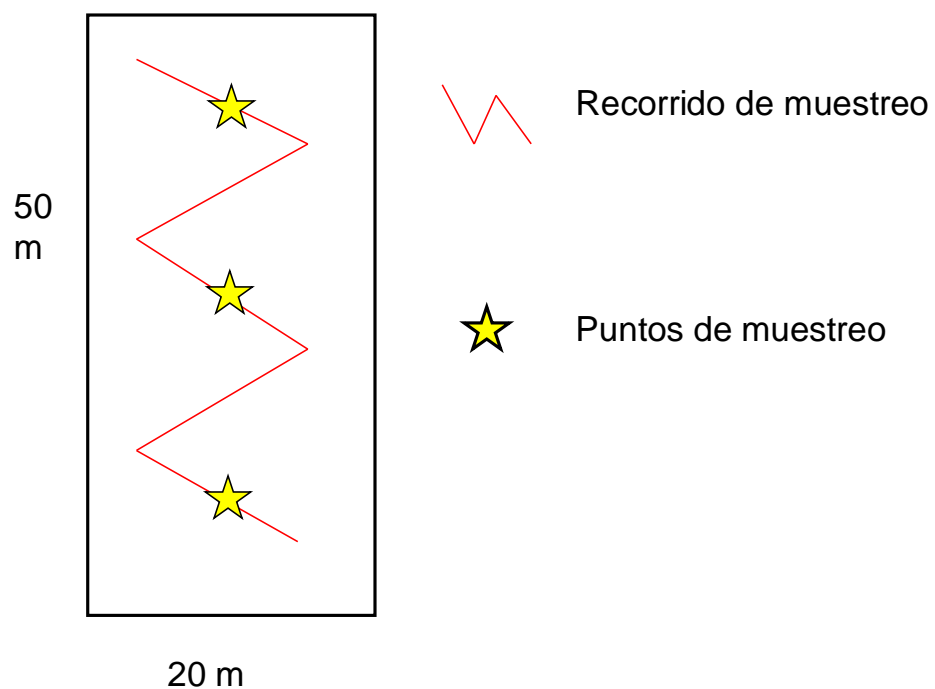
Microsoft Word, Excel, Power point y Arcgis 10.2.1.

3.4. Metodología

3.4.1. Identificación y caracterización morfológica de las especies vegetales nativas

3.4.1.1. Muestreo de suelo

Se colectó un aproximado de 0.30 m³ de suelo en tres diferentes puntos de la parcela agrícola. Para posteriormente homogenizar la muestra en una sola (MINAM, 2014).



Fuente: MISHARI (2008).

Figura 6. Diagrama de muestreo en cada zona

La muestra homogenizada fue colocada en bolsa impermeable de dos kilogramos de capacidad y transportado hasta el laboratorio para el análisis de cadmio.

Se consideró las condiciones de transporte y preservación del material para no perder las características de las muestras que posteriormente se sometieron a evaluación.

Tratamiento y disposición de suelo

Se retiró manualmente las piedras y/o cualquier objeto extraño. Seguidamente el suelo se tamizó utilizando una malla con 10 mm de abertura. El suelo tamizado fue homogenizado en submuestras de 500 g, para el análisis.

Análisis de cadmio del suelo

De las sub-muestras de suelo tamizado se realizaron los respectivos análisis en el laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para la determinación de la cantidad de cadmio disponible (Cd) (mg Cd/kg de suelo) se empleó el extractante EDTA 0.05M pH7 por el método 3050B (HUAYNATES, 2014).

3.4.1.2. Muestreo de especies vegetales nativas

Se colectó cuatro individuos por cada especie vegetal herbácea encontrada en la zona de estudio.

Una para el análisis fisicoquímico, otra para el análisis morfológico y dos para la identificación (ex-situ).

Estas muestras incluyeron el vástago (tallo, hoja, flor y semillas) así como el sistema radicular (raíz); registrando cada uno de ellas en las fichas de evaluación (Cuadro 6).

Una muestra de cada especie vegetal fue colocada en la prensa botánica para la identificación, el mismo que fue realizado en consulta con un especialista de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Las muestras restantes fueron colocadas en bolsas de papel, debidamente rotuladas y conservadas, para la determinación del contenido de cadmio y la caracterización morfológica (MISHARI, 2008).

Cuadro 6. Modelo de ficha de evaluación

N°	Código	Área	Individuos	Semillas	Flor
1					

3.4.1.3. Caracterización morfológica de las especies vegetales nativas

En el Cuadro 7 se muestra los diferentes descriptores que se utilizaron para la caracterización morfológica, estos incluyen tanto características cualitativas como cuantitativas, criterio considerado por los reportes de GUERRERO (2011).

Cuadro 7. Características morfológicas

Descriptores propuestos	Tipo de característica	
	Cuantitativa	Cualitativa
Peso fresco (área/radicular) (g)	X	
Peso seco (área/radicular) (g)	X	
Biomasa (Tn/Ha)	X	
Porcentaje de humedad	X	
Altura de planta (cm)	X	
Altura de la raíz (cm)	X	
Número de hojas	X	
Anchura de hojas	X	
Diámetro del tallo (cm)	X	
Disponibilidad de semillas		X
Presencia de flores		X
Densidad poblacional (individuo/m ²)	X	

Fuente: GUERRERO (2011).

Para la determinación de biomasa y porcentaje de humedad se procedió al pesado en fresco (g) de la muestra para la caracterización morfológica. Posteriormente se llevó a la estufa por un periodo de 24 horas a 109.5 °C y finalmente se realizó el pesado en seco (g) (RUIZ, 2014).

Determinación del porcentaje de agua (H%):

El porcentaje de agua (ver ecuación 1) se determinó con el porcentaje del peso en seco (Ws%) (RUIZ, 2014):

$$W_s \% = \frac{W_s \times 100}{W_F} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

WS = Peso en seco

WF = Peso en fresco

Una vez obtenido el Ws% se aplicó la siguiente fórmula (ver ecuación 4):

$$H\% = 100 - W_s\% \dots\dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

H% = Porcentaje de humedad

Ws% = Porcentaje de peso en seco

Determinación de la biomasa

Según Ruiz, 2014, se determinó con la ecuación 3:

$$B = \frac{10 \times PS}{N} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

B = Biomasa (tn/ha)

PS = Peso seco (Kg)

N = Tamaño de parcela (m²)

3.4.2. Clasificación de las especies vegetales nativas de acuerdo a su capacidad de acumulación de cadmio

3.4.2.1. Concentración de cadmio de las especies vegetales nativas

Para determinar la concentración de cadmio de las especies vegetales, las muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), subdivididas de la siguiente secciones: raíz y tallo-hojas-semillas-frutos.

Cada muestra fue secada a temperatura ambiente, posteriormente se procedió a la pulverización en mortero. Las muestras pulverizadas se digestaron con ácido nítrico (HNO₃) concentrado, la temperatura inicial de digestión fue de 90° C por 45 minutos, luego a 140° C hasta obtener un 1ml de muestra aproximadamente, posteriormente aforado en 25 ml con ácido nítrico al 1%v/v.

Finalmente la lectura de la concentración fue por espectrofotómetro de absorción atómica (HUAMANI, 2012).

3.4.2.2. Clasificación de las especies vegetales

La clasificación se realizó de acuerdo los factores de bioacumulación (BAF) y de translocación (FT).

Los factores de bioacumulación y translocación indicaron que especies de plantas pueden ser consideradas hiperacumuladoras, acumuladoras, tolerantes o exclusoras (DIEZ, 2008), utilizando los valores del Cuadro 8.

Cuadro 8. Clasificación de especies vegetales

BAF	FT	Clasificación
Concentraciones exceden 1000 mg/Kg		Hiperacumuladora
>1	>1	Acumuladora
>1	0.8-1	Acumuladora
0.8-1	>1	Tolerante
0.1-1	0.1-1	Tolerante
<0.1	<0.1	Exclusora

Fuente: DIEZ (2008)

BAF: Factor de bioacumulación; FT: Factor de translocación

Factor de bioacumulación (BAF)

El cálculo del factor de bioacumulación (BAF) se hace para estimar la relación entre los residuos químicos en las plantas y las concentraciones

medidas en el medio donde viven (MENDIETA, 2014). Los BAF se calcularon según la ecuación 4.

$$BAF = \frac{C_r}{C_s} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

BAF = Factor de bioacumulación

Cr = Concentración de cadmio en la raíz (ppm)

Cs = Concentración en el suelo (ppm)

Factor de translocación

El factor de translocación se obtuvo realizando el cálculo tal como se muestra en la ecuación 5.

$$FT = \frac{C_h}{C_r} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

FT = Factor de translocación

Ch = Concentración de cadmio en los órganos de interés (ppm)

Cr = Concentración de cadmio en la raíz (ppm)

3.5. Tipo y nivel de investigación

3.5.1. Tipo de investigación

Aplicada por que se recurrió a la ciencia biológica para describir a las especies vegetales encontrados y a la ciencia ambiental para relacionarlo con la fitorremediación. Teniendo como referente teórico a JACOBO (2013), quien indica que la investigación aplicada se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren y está vinculada estrechamente a la investigación básica.

3.5.2. Nivel de investigación

Descriptivo porque se identificó a las especies vegetales nativas con potencial de acumulación de cadmio en el caserío Picuruyacu Alto. Teniendo como referente teórico a JACOBO (2013) quien indica que los estudios descriptivos son la base y punto inicial de los otros tipos de estudio.

3.5.3. Variables de investigación

Por ser una investigación descriptiva presenta variables de tipo control e intervinientes, las mismas que son observadas y descritas en su ambiente natural (HERNÁNDEZ, 2010), descritas a continuación:

Variable control

Especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio

Variables intervinientes

Caserío Picuruyacu Alto del distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco

Parcela agrícola con cultivo de *Theobroma cacao* L. "cacao"

Plantas herbáceas

Tipo de suelo

Condiciones ambientales

3.5.4. Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación tiene un diseño de investigación no experimental, donde no se posee el control directo de las variables independientes y solo se observan los fenómenos tal y como se presentan en el contexto natural, para después analizarlos (HERNÁNDEZ, 2010).

IV. RESULTADOS

4.1. Identificación y caracterización morfológica de las especies vegetales nativas

4.1.1. Muestreo de especies vegetales nativas

La colecta de las especies vegetales encontradas en el caserío de Picuruyacu Alto, se muestra a continuación:

Cuadro 9. Registro de las especies vegetales colectadas

N°	Código*	Área (m ²)	Individuos	Densidad poblacional (individuos/m ²)	Presencia de Semillas	Presencia de flor
1	E-1	1.00	3	3.00		X
2	E-2	4.00	10	2.50	X	
3	E-4	5.00	9	1.80	X	X
4	E-5	4.00	12	3.00	X	
5	E-8	4.00	10	2.50		X
6	E-9	5.00	14	2.80		X
7	E-13	4.00	11	2.75	X	
8	E-14	3.00	8	2.67	X	X
9	E-19	4.00	5	1.25		X

*Codificación de acuerdo a las especies que fueron encontradas, por ejemplo E-1, significa especie N°1.

4.1.2. Identificación de las especies vegetales nativas

La identificación se realizó con la colaboración del Investigador Diego Franco Paredes Burneo del Laboratorio de Florística del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Se lograron identificar 9 especies vegetales (Cuadro 10), siendo detallados a continuación:

Cuadro 10. Identificación de las especies vegetales

Código	Familia	Especie	Autor
E-1	Solanaceae	<i>Browallia americana</i>	L.
E-2	Amaranthaceae	<i>Cyathula prostrata</i>	(L.) Blume
E-4	Asteraceae	<i>Philoglossa mimuloides</i>	(Hieron.) H.Rob. & Cuatrec.
E-5	Cyperaceae	<i>Cyperus simplex</i>	Kunth
E-8	Commelinaceae	<i>Commelina difusa</i>	L.
E-9	Asteraceae	<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	(Sch. Bip. ex Wedd.) R.M. King & H. Rob.
E-13	Rubiaceae	<i>Borreria prostrata</i>	(Aubl.) DC.
E-14	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i>	L.
E-19	Rubiaceae	<i>Diodia alata</i>	Nees & Mart.

4.1.3. Caracterización morfológica de las especies vegetales nativas

La caracterización morfológica se hizo por cada especie identificada como se muestra a continuación:

4.1.3.1. *Browallia americana*



Figura 7. *Browallia americana*

Nombre común: Simpática

Distribución geográfica: Se distribuye en los bosques alterados o como maleza en pastizales y orillas de caminos, a una altitud de 0–1200 msnm, pero, más común entre 300–800 m.

Descripción: Especie de planta fanerógama perteneciente a la familia solanaceae, se puede presentar como maleza sobre todo en plantaciones con sombra. Presenta una altura total de 60 cm y una altura de raíz de 8.5 cm, así mismo posee un tallo delgado con pequeños pelos y un diámetro aproximado de 1 cm.

Sus hojas tienen forma lanceolada a ovada con un ancho de aproximadamente 5.6 cm, el haz no presenta pelos, a diferencia del envés donde se aprecian pelos simples muy cortos sobre los nervios. Posee una flor de tamaño medio y vistoso de color púrpura con el centro de color blanco y amarillo, el cáliz presenta forma curva y posee dos pares de estambres claramente diferenciados y desiguales.

Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 54.06 % y 0.0327 tn/ha respectivamente, así mismo presenta una humedad y biomasa en el vástago de 73.56% y 0.092 tn/Ha respectivamente.

Propagación: Se propaga por semillas cuyas colecta (noviembre a febrero). Es polinizada por lepidópteros diurnos.

4.1.3.2. *Cyathula prostrata*



Figura 8. *Cyathula prostrata*

Nombre común: Cucua macho

Distribución geográfica: Se encuentra en pastizales y otras áreas perturbadas del trópico, a una altitud de 0 hasta 1150 msnm.

Descripción: Especie de hierba anual o perenne perteneciente a la familia amaranthaceae. Posee una altura total de 59 cm y una altura de raíz de 15.8 cm, además presenta un tallo delgado y angulado de diámetro aproximado de 0.2 cm, cubierto de finos pelos.

Sus hojas son opuestas y redondeadas en la base y agudas en el ápice, de textura lisa en el haz y el envés, con un ancho aproximado de 4.1 cm. Además presenta una espiga solitaria que se prolonga del tallo.

Las flores son de color verde pálido opaco, sin pelos por dentro y vestidas externamente con pelos largos y blancos.

Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 60.26% y 0.0072tn/Ha respectivamente, así mismo presenta una humedad y biomasa en el vástago de 74.72% y 0.028 tn/ha respectivamente.

Propagación: Florece y fructifica de marzo a octubre, pero principalmente en septiembre.

Los frutos se enganchan a la ropa y a la piel de los animales, contribuyendo a su dispersión y posterior germinación.

4.1.3.3. *Philoglossa mimuloides*



Figura 9. *Philoglossa mimuloides*

Nombre común: Siso menudo

Distribución geográfica: Se le puede encontrar en los flancos occidentales de la loma, ocupando los hábitats de loma herbácea en pradera abierta, a una altitud de 460 a 900 metros.

Descripción: Especie de planta fanerógama perteneciente a la familia asteraceae. Presenta una altura total de 69 cm y una altura de raíz de 19.3 cm, así mismo posee un tallo delgado con pelos cortos y un diámetro aproximado de 0.7 cm.

Sus hojas son ovaladas con margen aserrado y con presencia de pelos cortos y delgados con un ancho aproximado de 3.9 cm.

Su flor es de color amarillo con 4 pétalos y de tamaño pequeño.

Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 42.24% y 0.0064 tn/ha respectivamente, así mismo presenta una humedad y biomasa en el vástago de 75.88% y 0.142 tn/ha respectivamente.

Propagación: Su propagación es por semillas.

4.1.3.4. *Cyperus simplex*



Figura 10. *Cyperus simplex*

Distribución geográfica: Se le encuentra frecuentemente en climas tropicales y húmedos, a una altitud entre 500 a 100 msnm.

Descripción: Especie de planta perenne perteneciente a la familia cyperaceae. Posee una altura de 58 cm y una altura de raíz de 11.6 cm, además presenta un tallo delgado sin pelos de un diámetro de 0.3 cm.

Hojas lineales y largas de 0.9 cm de ancho y bractáceas de las que subfieren inflorescencia en forma de hojas con espiguillas sésiles.

Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 70.39% y 0.0042 tn/ha respectivamente, así mismo presenta una humedad y biomasa en el vástago de 79.16% y 0.014 tn/ha respectivamente.

Propagación: Presenta flores y frutos principalmente en la temporada de lluvias, época en la que se recomienda su recolección de semillas, por ser su forma de propagación.

4.1.3.5. *Commelina difusa*



Figura 11. *Commelina difusa*

Nombre común: Commelina

Distribución geográfica: Se distribuye en regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios hasta los 2750 msnm.

Descripción: Especie de planta fanerógama perteneciente a la familia commelinaceae. Posee una altura total de 96 cm y raíces fibrosas de una altura de 10.9 cm, presenta un tallo cilíndrico, largo y ramificado que puede formar raíces al ponerse en contacto con el suelo con un diámetro de 0.7 cm. Las hojas son lanceoladas lisas y sin pelos, con un ancho de 2.5cm y las flores nacen a partir de las espatas que se abren de manera secuencial.

Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 79.06 % y 0.0078 tn/ha respectivamente, y una humedad y biomasa en el vástago de 88.04% y 0.036 tn/ha respectivamente.

Propagación: Se propaga vegetativamente.

4.1.3.6. *Ageratina cf azangaroensis*



Figura 12. *Ageratina cf azangaroensis*

Nombre común: Marmaquilla

Distribución geográfica: Se distribuyen en las regiones templadas de América entre los 100-1500 msnm.

Descripción: Herbácea anual perteneciente a la familia asteraceae. Posee una altura total de 84 cm y de raíz de 16.1 cm. Presenta un tallo cilíndrico verde y ligeramente pubescente con un diámetro de 0.4 cm. Sus hojas son ovadas y opuestas, agudas en el ápice con un ancho de 4.5 cm. Posee inflorescencias compuestas de muchas flores de color violáceo claro. Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 65.14 % y 0.0089 tn/ha respectivamente, y una humedad y biomasa en el vástago de 81.88% y 0.052 tn/ha respectivamente.

Propagación: Se propaga a través de los rizomas.

4.1.3.7. *Borreria prostrata*



Figura 13. *Borreria prostrata*

Nombre común: Alga falsa

Distribución geográfica: Habita en climas cálidos, semicálidos y templados, desde los 0 hasta los 1000 msnm.

Descripción: Hierba fanerógama perteneciente a la familia rubiaceae. Presenta una altura total de 64 cm y raíces largas y ramificadas con una altura de 18.3 cm, posee un tallo largo y sin pelos de color verde con un diámetro de 0.8 cm. Sus hojas son de forma ovada, con un ancho de 3.2 cm y las flores son de tamaño pequeño a mediano de cuatro lóbulos.

Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 73.36 % y 0.023 tn/ha respectivamente, y una humedad y biomasa en el vástago de 88.79% y 0.068 tn/ha respectivamente.

Propagación: Se propaga por semillas.

4.1.3.8. *Euphorbia heterophylla*



Figura 14. *Euphorbia heterophylla*

Nombre común: Casalina

Distribución geográfica: Se distribuye en la mayoría de las áreas tropicales y subtropicales del mundo en altitudes que van desde los 0 hasta casi 1400 msnm.

Descripción: Planta herbácea de la familia euphorbiaceae. Posee una altura total de 78 cm y una altura de raíz de 10.6 cm.

Presenta un tallo simple que exuda una savia de color blanco lechoso de un diámetro aproximado de 0.5 cm.

Sus hojas son de forma lobulada con pequeños pelos simples y cortos con un ancho de 4 cm.

Presenta falsas flores (ciatos) agrupados en la cima del tallo cuya coloración es amarillo verdoso no posee pétalos.

Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 59.37 % y 0.0088 tn/ha respectivamente, así mismo presenta una humedad y biomasa en el vástago de 76.03% y 0.082 tn/ha respectivamente.

Propagación: Se propaga por semillas, donde, una planta puede producir más de 100 semillas. Las semillas germinan fácilmente en temperaturas alternas de 25 a 35°C.

4.1.3.9. *Diodia alata*



Figura 15. *Diodia alata*

Distribución geográfica: Se distribuye en áreas húmedas de países tropicales y subtropicales, a una altitud desde 300 hasta los 1400 msnm.

Descripción: Herbácea anual perteneciente a la familia rubiaceae.

Presenta una altura total de 62 cm y una altura de raíz de 13.8 cm, posee un tallo delgado de color verde sin la presencia de pelos y un diámetro aproximado de 1 cm.

Hojas lisas opuestas de forma lanceolada con un ancho de 9.5 cm. Posee inflorescencias capitadas compuestas por flores de color blanco.

Posee una humedad y biomasa en el sistema radicular de 47.82% y 0.0075 tn/ha respectivamente, así mismo presenta una humedad y biomasa en el vástago de 92.82% y 0.0044 tn/ha respectivamente.

Propagación: Se propaga por producción de semillas, se recomienda la colecta entre junio y octubre.

4.2. Clasificación de las especies vegetales nativas de acuerdo a su capacidad de acumulación de cadmio

4.2.1. Contenido de cadmio de las especies vegetales colectadas

El análisis de cadmio se realizó para todas las especies identificadas del Cuadro 11, separadas en muestra superior (vástago) y muestra inferior que incluye solo raíz.

Se registró que la especie vegetal *Browallia americana* obtuvo un 81.39% del contenido de cadmio en el sistema radicular, seguido de *Diodia alata* quien tuvo un porcentaje de acumulación de 79.82%.

En caso de la especie *Cyathula prostrata* fue la especie que registró mayores concentraciones de cadmio en la parte del vástago de la planta, con un valor de 47.53%, seguido de la especie *Cyperus simplex* con un porcentaje de 47.19%.

Cuadro 11. Análisis de cadmio total en las especies vegetales colectadas

Especie vegetal	Vástago		Sistema radicular	
	(ppm)	%	(ppm)	%
<i>Browallia americana</i>	1.55	18.61	6.78	81.39
<i>Cyathula prostrata</i>	10.10	47.53	11.15	52.47
<i>Philoglossa mimuloides</i>	1.98	30.09	4.6	69.91
<i>Cyperus simplex</i>	3.78	47.19	4.23	52.81
<i>Commelina difusa</i>	1.48	25.47	4.33	74.53
<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	4.35	41.91	6.03	58.09
<i>Borreria prostrata</i>	1.00	26.67	2.75	73.33
<i>Euphorbia heterophylla</i>	3.43	35.88	6.13	64.12
<i>Diodia alata</i>	1.15	20.18	4.55	79.82

En el análisis de la comparación de la concentración de cadmio acumulado por las especies vegetales reportadas en el presente estudio y la concentración de dicho metal pesado en el suelo se tiene lo siguiente:

En las Figuras 16, 17 y 18, se observan que la cantidad de cadmio fue mayor en el sistema radicular al compararse con el suelo de todas las especies analizadas, excepto *Borreria prostrata* y para el vástago es muy variable y depende la especie vegetal.

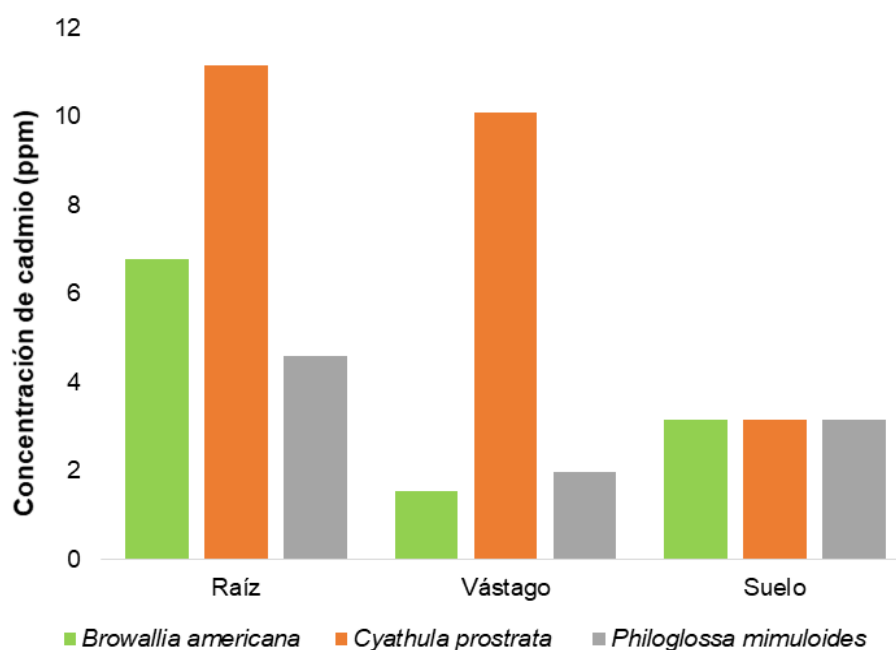


Figura 16. Concentración de cadmio (ppm) en la raíz, vástago y suelo para *Browallia americana*, *Cyathula prostrata* y *Philoglossa mimuloides*

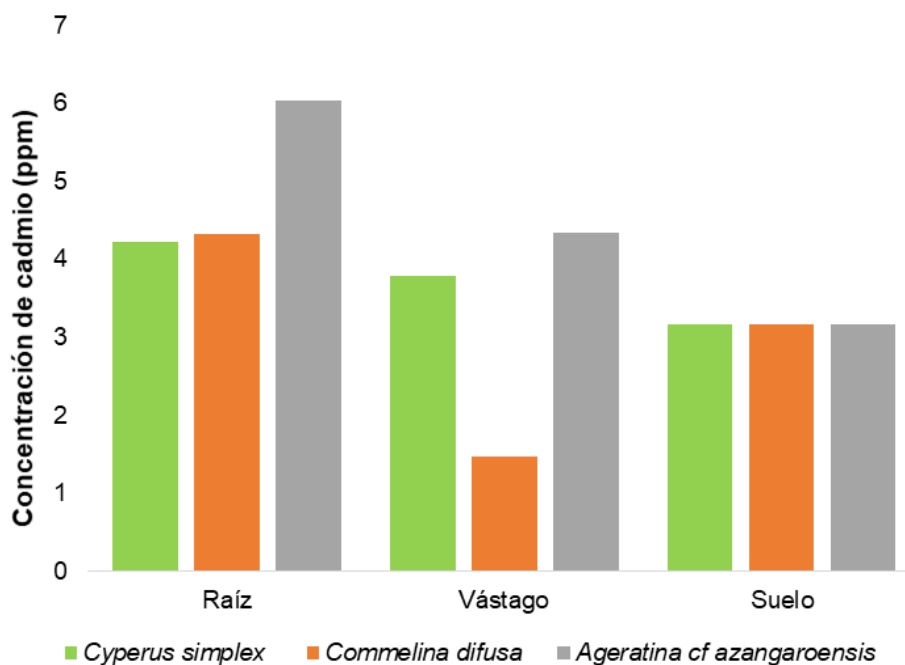


Figura 17. Concentración de cadmio (ppm) en la raíz, vástago y suelo para *Cyperus simplex*, *Commelina difusa* y *Ageratina cf azangaroensis*

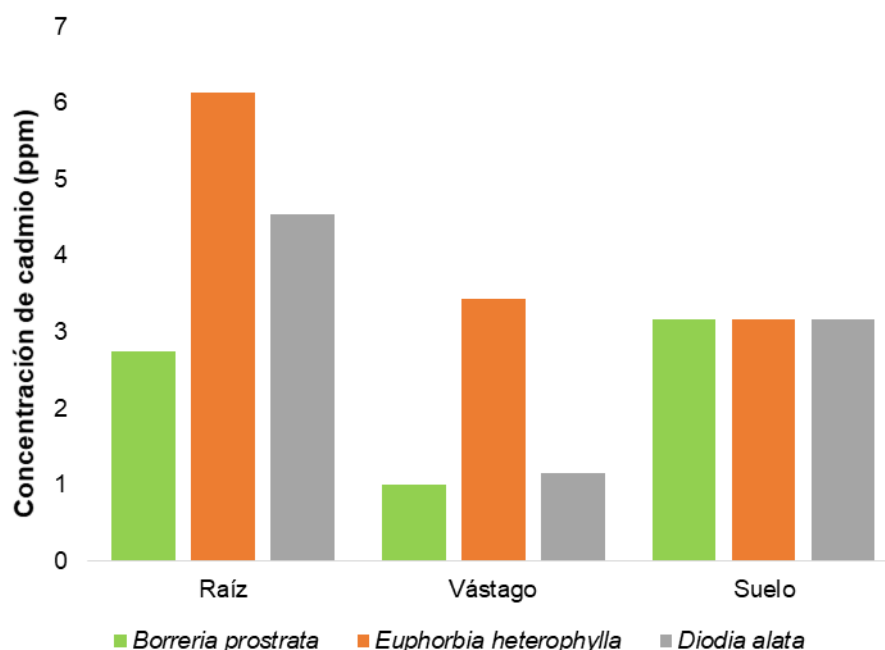


Figura 18. Concentración de cadmio (ppm) en la raíz, vástago y suelo para *Borreria prostrata*, *Euphorbia heterophylla* y *Diodia alata*

4.2.2. Clasificación de las especies vegetales colectadas

La clasificación se realizó de acuerdo a los factores de bioacumulación (BAF) y de translocación, obtenidos con los datos de la concentración de cadmio en el suelo (Figura 37) y en la especie vegetal (Cuadro 11), detallado a continuación:

4.2.3. Factor de bioacumulación

Los valores usados para determinar el factor de bioacumulación (Cuadro 12) estuvieron enmarcados en la concentración del contenido de cadmio en el suelo y en la parte del sistema radicular de las especies vegetales identificadas en el presente estudio.

Cuadro 12. Cálculo del factor de bioacumulación

Espece vegetal	Concentración de cadmio en el sistema radicular (ppm)	Concentración de cadmio en suelo (ppm)	Factor de bioacumulación
<i>Browallia americana</i>	6.78	3.17	2.14
<i>Cyathula prostrata</i>	11.15	3.17	3.52
<i>Philoglossa mimuloides</i>	4.6	3.17	1.45
<i>Cyperus simplex</i>	4.23	3.17	1.33
<i>Commelina difusa</i>	4.33	3.17	1.37
<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	6.03	3.17	1.90
<i>Borreria prostrata</i>	2.75	3.17	0.87
<i>Euphorbia heterophylla</i>	6.13	3.17	1.93
<i>Diodia alata</i>	4.55	3.17	1.44

4.2.4. Factor de translocación

Los valores usados para determinar el factor de translocación, son la concentración de cadmio en el sistema radicular y en el vástago.

Cuadro 13. Cálculo del factor de translocación

Espece vegetal	Concentración de cadmio en el sistema radicular (ppm)	Concentración de cadmio en el vástago (ppm)	Factor de translocación
<i>Browallia americana</i>	6.78	1.55	0.23
<i>Cyathula prostrata</i>	11.15	10.10	0.91
<i>Philoglossa mimuloides</i>	4.6	1.98	0.43
<i>Cyperus simplex</i>	4.23	3.78	0.89
<i>Commelina difusa</i>	4.33	1.48	0.34
<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	6.03	4.35	0.72
<i>Borreria prostrata</i>	2.75	1.00	0.36
<i>Euphorbia heterophylla</i>	6.13	3.43	0.56
<i>Diodia alata</i>	4.55	1.15	0.25

4.2.5. Clasificación de las especies vegetales

Con el factor de acumulación (Cuadro 12), el factor de translocación (Cuadro 13) y teniendo en consideración la clasificación propuesta por Diez, 2008 (Cuadro 8) se realizó la clasificación de las especies vegetales, mostrado a continuación:

Cuadro 14. Clasificación de las especies vegetales

Especie vegetal	Hiperacumuladora	Acumuladora	Tolerante	Exclusora
<i>Browallia americana</i>			■	
<i>Cyathula prostrata</i>		■		
<i>Philoglossa</i>			■	
<i>mimuloides</i>			■	
<i>Cyperus simplex</i>		■		
<i>Commelina difusa</i>			■	
<i>Ageratina cf</i>			■	
<i>azangaroensis</i>			■	
<i>Borreria prostrata</i>			■	
<i>Euphorbia heterophylla</i>			■	
<i>Diodia alata</i>			■	

Se han identificado dos especies vegetales acumuladoras, y siete especies vegetales tolerantes.

V. DISCUSIÓN

Las especies *Cyathula prostrata* y *Cyperus simplex* poseen una biomasa en el vástago de 0.028 tn/ha y 0.014 tn/ha, y una biomasa en el sistema radicular de 0.0073 tn/ha y 0.0042 tn/ha, respectivamente, en comparación con las otras siete especies identificadas y clasificadas como tolerante, son los valores más bajos y que según, MEDINA (2014) la reducción de la altura de la especie vegetal y la pérdida de hojas son factores que causan la disminución de la biomasa, pero también podría influenciar la toxicidad originada por las altas concentraciones de cadmio disponible en el suelo.

Las especies identificadas como acumuladoras *Cyathula prostrata* y *Cyperus simplex*, poseen en promedio una altura de raíz de 15.80 cm y 11.60 cm, respectivamente, sin embargo, según la Universidad Nacional de Colombia (2017), la altura en otro tipo de suelos que no tienen presencia de metales pesados es de 20 cm y 15 cm, respectivamente, así mismo, PÉREZ (2004) manifiesta que, el escaso tamaño y poca profundidad de las raíces de las especies vegetales añadido a su baja biomasa es una de las desventajas de este tipo de fitoextracción.

El caserío Picuruyacu Alto del distrito de Castillo Grande presenta en el suelo cadmio disponible, con un valor de 3.17 ppm, diversos factores pudieron haber influenciado en este valor, sin embargo y por testimonio del

dueño de la parcela agrícola, este suelo fue dedicado hace treinta años a la siembra y cosecha de coca (*Erythroxylum coca*), por un periodo aproximado de 15 años, tiempo en el cual se utilizó diversidad de fertilizantes, entre ellas, la roca fosfórica, vinculada con el aumento de cadmio en los suelos (FAO, 2007), además, HUAMANÍ (2012), menciona que, los mayores valores de cadmio disponible en el suelo en parcelas con cultivos orgánicos de la región Huánuco se encontraron en las riberas de los ríos Huallaga (1.82 ppm) y Tulumayo (1.63 ppm).

De los análisis de cadmio, las nueve especies identificadas acumulan más del 50% del contenido total del metal en sus raíces, tal es el caso de *Browallia americana* cuya acumulación en su sistema radicular fue de 81.39%. Sin embargo *Cyathula prostrata* acumuló el 47.53% en su vástago y el 52.47% en el sistema radicular, comportamiento similar en *Cyperus simplex* con una acumulación de 47.19% en su vástago y 52.81% en el sistema radicular, debido a que necesitan distribuir de mejor manera el metal para no sufrir afectaciones, además, según KIDD (2007), el cadmio se acumula en mayor concentración en la raíz almacenándose en la vacuola de las células, y solo una pequeña fracción se transporta a la parte aérea de la planta, en el siguiente orden decreciente tallos, hojas, frutos y semillas.

Otras especies de la familia Amaranthaceae, de *Cyathula prostrata* y de Cyperaceae de la familia de *Cyperus simplex*, fueron estudiadas para evaluar su capacidad de acumulación de cadmio, y que según DIAS (2010) y RODRÍGUEZ (2018), existen especies hiperacumuladoras dentro de las

familias, debido a que por sus características morfológicas, fisiológicas y fenológicas, presentan una alta absorción del cadmio disponible en el suelo por su raíz, las mismas que realizan la translocación de forma rápida y una gran habilidad para detoxificar el metal pesado en sus hojas.

VI. CONCLUSIONES

1. Se ha identificado a *Cyathula prostrata* perteneciente a la familia amaranthaceae y *Cyperus simplex* perteneciente a la familia cyperaceae, como especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio.
2. Se han identificado siete especies vegetales nativas tolerantes, *Browallia americana*, *Philoglossa mimuloides*, *Ageratina cf azangaroensis*, *Commelina difusa*, *Borreria prostrata*, *Diodia alata* y *Euphorbia heterophylla*.
3. Las especies *Cyathula prostrata* y *Cyperus simplex* son especies de hierbas anuales, poseen una altura promedio de 50 cm y una altura de raíz de 15 cm, así mismo, poseen tallos delgados con una humedad promedio de 70%.
4. Las nueve especies identificadas acumulan más del 50% del contenido total de cadmio en sus raíces.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios a profundidad en las especies identificadas como acumuladoras *Cyathuta prostrata* y *Cyperus simplex*, para determinar su capacidad máxima para acumular el cadmio.
2. Se recomienda ampliar y profundizar en investigaciones referentes a su fenología, fisiología, morfología, formas de propagación y ciclo de vida, para poder ser usadas en procesos de fitorremediación, debido a que son especies adaptadas a condiciones ambientales.
3. Estudiar las interacciones de *Cyathuta prostrata* y *Cyperus simplex* con los hongos, bacterias u otros microorganismos presentes en el suelo, que pudieran facilitar o impedir la remoción del metal.
4. Para casos como el caserío Picuruyacu Alto donde la cantidad de cadmio disponible en el suelo es bajo (menor a 100 mg/Kg), se recomienda el uso de técnicas como la fitorremediación por ser de bajo costo y de fácil implementación.

VIII. ABSTRACT

The contamination from heavy metals is currently one of the most serious environmental problems. Phytoremediation is an emerging low cost technique which uses the properties of the plants to accumulate or tolerate the heavy metals and it can be used to remediate contaminated areas. The objective of this work is to identify the native vegetative species which accumulate cadmium on the Picuruyacu Alto homestead, in the Leoncio Prado province, Huanuco department, Peru. Four specimens of each herbaceous vegetative species found were collected for the physicochemical and morphological analysis and for their identification, the samples included the offshoot (stem, leaf, flower and seeds) and the radicular system (root). Seven tolerant native vegetative species were identified, *Browallia americana* of the solanaceae family, *Philoglossa mimuloides* and *Ageratina cf azangaroensis* of the asteraceae family, *Commelina difusa* of the commelinaceae family, *Borreria prostrata* and *Diodia alata* of the family of rubiaceae, *Euphorbia heterophylla* of the euphorbiaceae family, on the other hand, two accumulating native vegetative species were identified, *Cyathula prostrata* of the amaranthaceae family and *Cyperus simplex* of the cyperaceae family.

Key words: Phytoremediation, cadmium, accumulator, tolerant, *Cyathula prostrata*, *Cyperus simplex*, offshoot, root system.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABANTO, M. 2016. Fuentes fosfatadas en dos suelos en la concentración de cadmio foliar en maíz bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agrónomo. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 108 p.
- BAUTISTA, F. 2013. Introducción al estudio de la contaminación del suelo. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México. 99 p.
- BERNAD, O. 2014. Técnicas de descontaminación de suelos. Editorial Reverté. Madrid, España. 109 p.
- CASTEBLANCO, J. 2018. Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. La granja: Revista de Ciencias de la Vida, Cuenca. 27(1):21-35.
- CHAVEZ, L. 2014. Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 114 p.
- DELGADILLO, A. 2011. Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems, Hidalgo. 14(1):597-612.
- DIAS, A. 2010. Fitorremediación de cadmio y zinc por amaranthaceae. Tesis Mg. Ciencias del suelo. Minas Gerais. Universidad Federal de Lavras. 181 p.

- DIEZ, J. 2008. Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. Tesis Doctor en Química. Santiago de Compostela, España. Universidad de Santiago de Compostela. 344 p.
- DORRONSORO, C. 2015. Descontaminación del suelo. Universidad de Granada. Granada, España. 90 p.
- FAO. 2007. Utilización de la roca fosfórica para la agricultura. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/y5053s/y5053s00.pdf>, 20 Ago. 2007).
- GALÁN, E., ROMERO, A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Macla, Sevilla. 10(2):48-60.
- GUERRERO, J., CAMPUZANO, L., ROJAS, S. 2011. Caracterización morfológica y agronómica de la colección nacional de germoplasma de *Jatropha curcas* L. Orinoquia, Villavicencia. 15(2):131-147.
- HUAMANÍ, H. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Acta Agronómica, Palmira. 61(4):1-4.
- HUAYNATES, J. 2011. Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de Supte. Tesis Ing. Conservación de Suelos y Agua. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 111 p.
- JIMENEZ, C. 2015. Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. Scielo, Antioquía. 10(1):1-11.

- JACOBO, S. 2013. Fundamentos teóricos y metodológicos para la investigación científica en ciencias agrarias. Huánuco, Perú. 204 p.
- KIDD, P., BECERRA, C., GARCÍA, L. 2007. Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas*, Santiago de Compostela. 16(2):26-43.
- LLUGANY, M., TOIRÁ, R. 2007. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?. *Ecosistemas*, Madrid. 16(2)4-9.
- LOPES, D., ROCHA, C., MOREIRA, C. 2009. Plantas nativas do Cerrado: uma alternativa para fitorremediação. *Goiânia, Sao Paulo*. 36(11):1141-1158.
- MARAÑÓN, T. 2016. Funciones del suelo y servicios ecosistémicos. [En línea]:CSIC,(http://digital.csic.es/bitstream/10261/140398/1/Maranon_RE C16.pdf, 12 de Abr. 2016).
- MARRERO, J., AMORES, I. COTO, Q. 2012. Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. ICIDCA, Ciudad de La Habana. 43(3):52-61.
- MEDINA, K. 2014. Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental Minero Alianza – Ancash. Tesis Ing. Ambiental. Huaráz, Perú. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 151 p.
- MENDIETA, C., TAISIGUE, K. 2014. Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de

- Chontales: implicaciones para el potencial de fito-remediación. APPEAR, Managua. 2(1):19-31.
- MINAM. 2014. Guía para el muestreo de suelos. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú. 72 p.
- MINAM. 2015. Guía de inventario de la flora y vegetación. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú. 50 p.
- MINAM. 2017. Estándares de Calidad Ambiental para Suelo. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú. 12 p.
- MISHARI, D. 2008. Evaluación de la diversidad alfa del sector sur de la zona reservada Pampa Hermosa en Chanchamayo, Perú. Tesis Ing. Forestal. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 82 p.
- NORDBERG, G. 2015. Metales: propiedades químicas y toxicidad. [En línea]: INSHT,(<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>, 18 de Feb. 2015).
- NORIEGA, B. 2016. Identificación de especies vegetales asociadas a jales del distrito minero de Guanajuato. IEEG, Guanajuato. 26(2):71-77.
- PEREZ, L., GONZALEZ, J. 2004. Índices de acumulación de metales pesados en granos y hojas de trigo. Schironia, Ciudad de México. 1(3):5-9.
- PRIETO, J., GONZALEZ, C. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems, Yucatán. 10(1):29-44.

- RODRIGUEZ, S. 2018. Bioacumulación de metales pesados en Cyperaceae. Tesis Dr. Mineralogía. Sevilla, España. Universidad de Sevilla. 139 p
- RUIZ, C., RODRIGUEZ, G., LEYVA, J. 2014. Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México. *Naturaleza y Desarrollo*, Oaxaca. 12(1):28-44.
- SACRISTÁN, D. 2015. Evaluación de la toxicidad y de la bioacumulación del Cu en un cultivo acumulador (*Lactuca sativa* L.) y otro no-acumulador (*Solanum lycopersicum* L.) en suelos agrícolas mediterráneos representativos, como base para la propuesta de estrategias de gestión. Tesis Doctor en Biodiversidad. Valencia, España. Universidad de Valencia. 202 p.
- SENAMHI. 2018. Condiciones de tiempo. Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú. [En línea]: SENAMHI, (http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi.Artículo, 28 Ene. 2018).
- UNAC. 2017. Tratamiento taxonómico. [En línea]: UNAL, (<http://www.biovirtual.unal.edu.co/floradecolombia/es/description/547/>, 20 Ago. 2017).
- VOLKE, T., VELASCO, A. 2016. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México, México. 62 p.

ANEXOS

Anexo 1. Cuadros

Cuadro 15. Codificación de especies vegetales colectadas para el análisis fisicoquímico

N°	Especie vegetal	Código	
		Muestra superior (Tallo, hojas, flores y frutos)	Muestra inferior (Raíz)
1	<i>Browallia americana</i>	E1-I	E1-II
2	<i>Cyathula prostrata</i>	E2-I	E2-II
3	<i>Philoglossa mimuloides</i>	E4-I	E4-II
4	<i>Cyperus simplex</i>	E5-I	E5-II
5	<i>Commelina difusa</i>	E8-I	E8-II
6	<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	E9-I	E9-II
7	<i>Borreria prostrata</i>	E13-I	E13-II
8	<i>Euphorbia heterophylla</i>	E14-I	E14-II
9	<i>Diodia alata</i>	E19-I	E19-II

Cuadro 16. Características cuantitativas in situ

Código	Especie vegetal	Altura total (m)	Altura raíz (cm)	N° hojas	Anchura de hojas (cm)	Diámetro de tallo (cm)
E-1	<i>Browallia americana</i>	0.67	8.50	143	5.60	1.00
E-2	<i>Cyathula prostrata</i>	0.57	15.80	34	4.10	0.20

Código	Especie vegetal	Altura total (m)	Altura raíz (cm)	Nº hojas	Anchura de hojas (cm)	Diámetro de tallo (cm)
E-4	<i>Philoglossa mimuloides</i>	0.66	19.30	192	3.90	0.70
E-5	<i>Cyperus simplex</i>	0.56	11.60	16	0.90	0.30
E-8	<i>Commelina difusa</i>	0.97	10.90	25	2.50	0.70
E-9	<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	0.86	16.10	36	4.50	0.40
E-13	<i>Borreria prostrata</i>	0.60	18.30	17	3.20	0.80
E-14	<i>Euphorbia heterophylla</i>	0.79	10.60	35	4.00	0.50
E-19	<i>Diodia alata</i>	0.62	13.80	24	9.50	1.00

Cuadro 17. Porcentaje de humedad en el vástago de las especies vegetales

Código	Especie vegetal	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Peso del agua retenido (%)	Humedad (%)
E-1	<i>Browallia americana</i>	11.81	3.05	25.83	73.56
E-2	<i>Cyathula prostrata</i>	4.39	1.11	25.28	74.72
E-4	<i>Philoglossa mimuloides</i>	33.58	7.88	23.47	75.88
E-5	<i>Cyperus simplex</i>	2.29	0.48	20.96	79.16
E-8	<i>Commelina difusa</i>	11.84	1.45	12.25	88.04

Código	Especie vegetal	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Peso del agua retenido (%)	Humedad (%)
E-9	<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	10.07	1.86	18.47	81.88
E-13	<i>Borreria prostrata</i>	21.68	2.48	11.44	88.79
E-14	<i>Euphorbia heterophylla</i>	13.11	3.09	23.57	76.03
E-19	<i>Diodia alata</i>	45.36	3.5	7.72	92.82

Cuadro 18. Porcentaje de humedad para el sistema radicular de las especies vegetales

Código	Especie vegetal	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Peso del agua retenido (%)	Humedad (%)
E-1	<i>Browallia americana</i>	2.32	1.09	46.98	54.06
E-2	<i>Cyathula prostrata</i>	0.72	0.29	40.28	60.26
E-4	<i>Philoglossa mimuloides</i>	6.12	3.58	58.50	42.24
E-5	<i>Cyperus simplex</i>	0.47	0.14	29.79	70.39
E-8	<i>Commelina difusa</i>	1.49	0.31	20.81	79.06
E-9	<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	0.93	0.32	34.41	65.14
E-13	<i>Borreria prostrata</i>	6.95	1.91	27.48	73.36
E-14	<i>Euphorbia heterophylla</i>	0.81	0.33	40.74	59.37
E-19	<i>Diodia alata</i>	1.32	0.68	51.52	47.82

Cuadro 19. Biomasa para el vástago de las especies vegetales

Código	Especie vegetal	Peso seco (Kg)	Área (m ²)	Biomasa (tn/Ha)
E-1	<i>Browallia americana</i>	0.009	1	0.092
E-2	<i>Cyathula prostrata</i>	0.011	4	0.028
E-4	<i>Philoglossa mimuloides</i>	0.071	5	0.142
E-5	<i>Cyperus simplex</i>	0.006	4	0.014
E-8	<i>Commelina difusa</i>	0.015	4	0.036
E-9	<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	0.026	5	0.052
E-13	<i>Borreria prostrata</i>	0.027	4	0.068
E-14	<i>Euphorbia heterophylla</i>	0.025	3	0.082
E-19	<i>Diodia alata</i>	0.018	4	0.044

Cuadro 20. Biomasa en el sistema radicular de las especies vegetales

Código	Especie vegetal	Peso seco (Kg)	Área (m ²)	Biomasa (tn/Ha)
E-1	<i>Browallia americana</i>	0.0033	1	0.033
E-2	<i>Cyathula prostrata</i>	0.0029	4	0.007
E-4	<i>Philoglossa mimuloides</i>	0.0322	5	0.064
E-5	<i>Cyperus simplex</i>	0.0017	4	0.004
E-8	<i>Commelina difusa</i>	0.0031	4	0.008
E-9	<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	0.0045	5	0.009
E-13	<i>Borreria prostrata</i>	0.0092	4	0.023
E-14	<i>Euphorbia heterophylla</i>	0.0026	3	0.009
E-19	<i>Diodia alata</i>	0.0030	4	0.008

Anexo 2. Figuras

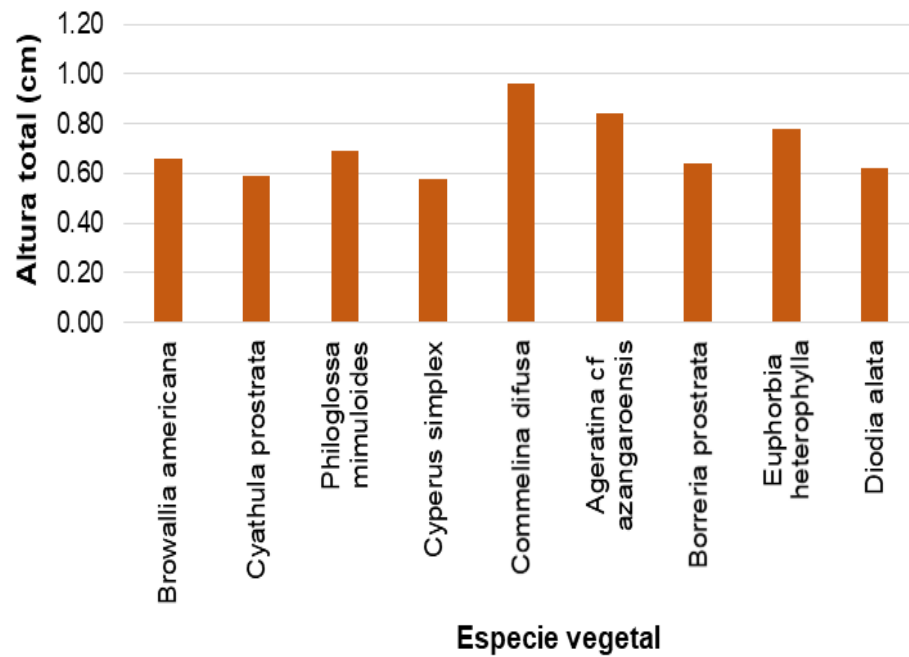


Figura 19. Altura total (cm) de las especies identificadas

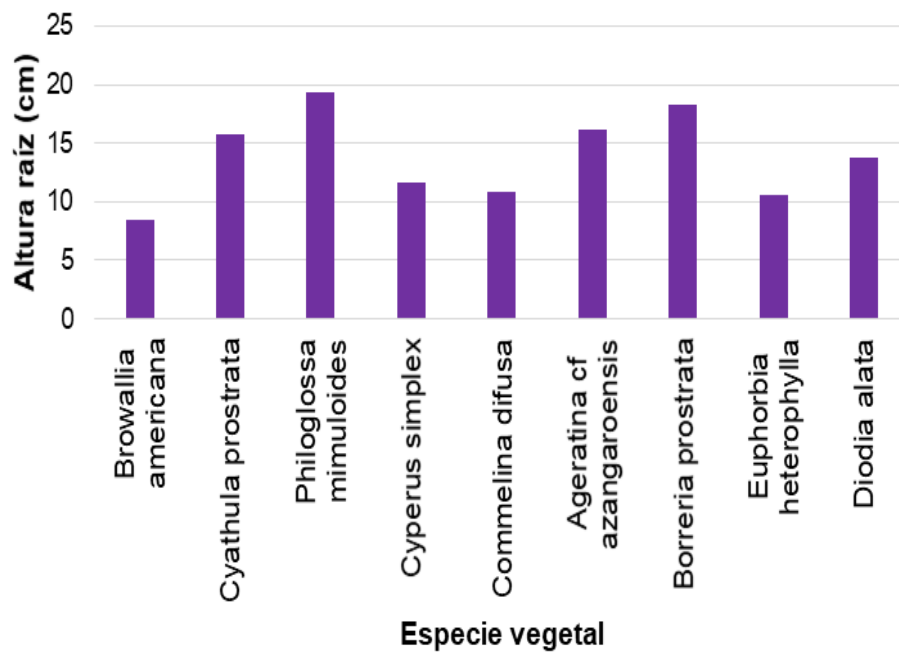


Figura 20. Altura de raíz (cm) de las especies identificadas

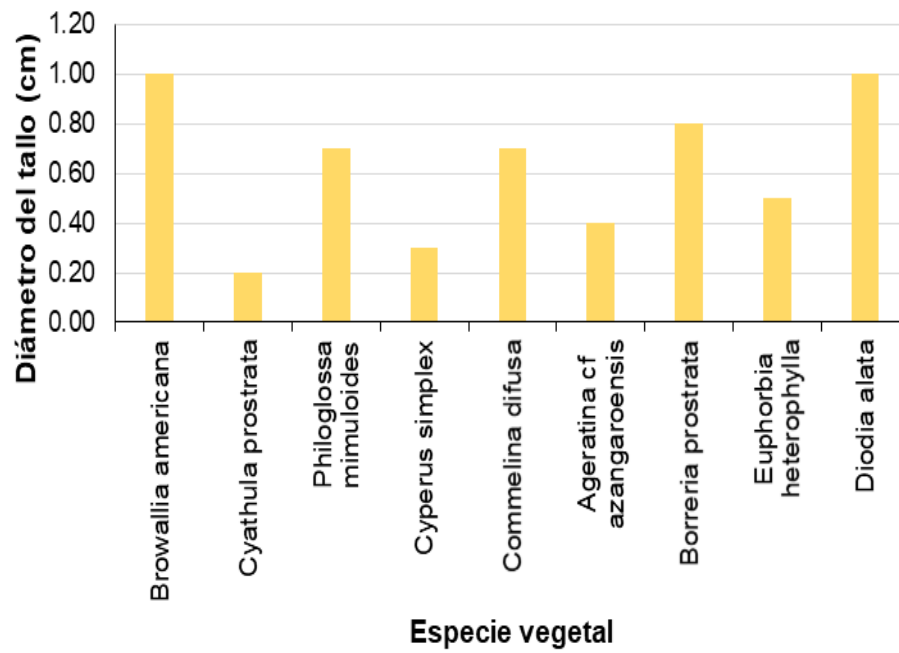


Figura 21. Diámetro del tallo (cm) de las especies identificadas

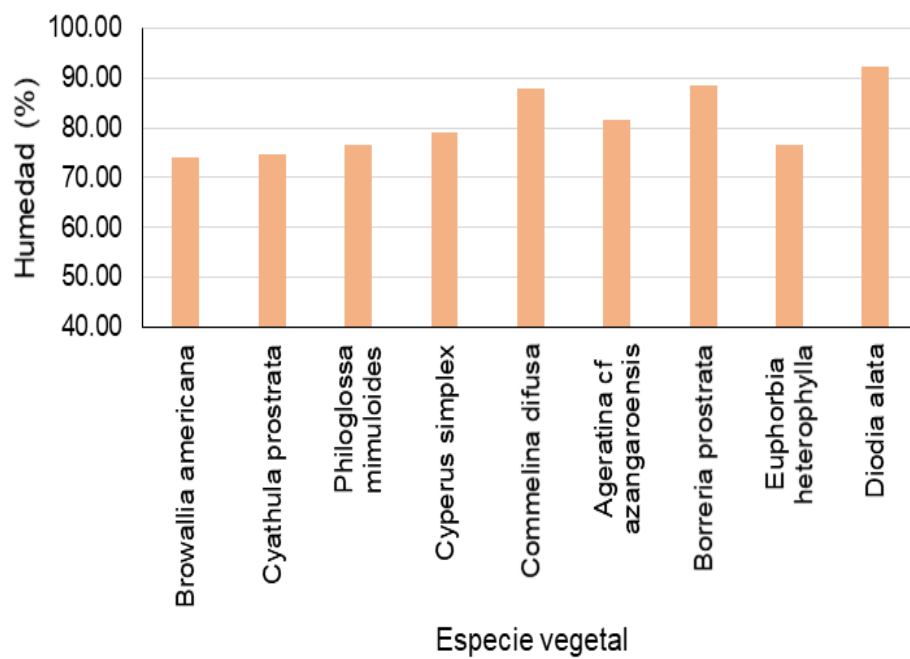


Figura 22. Humedad (%) en el vástago de las especies identificadas

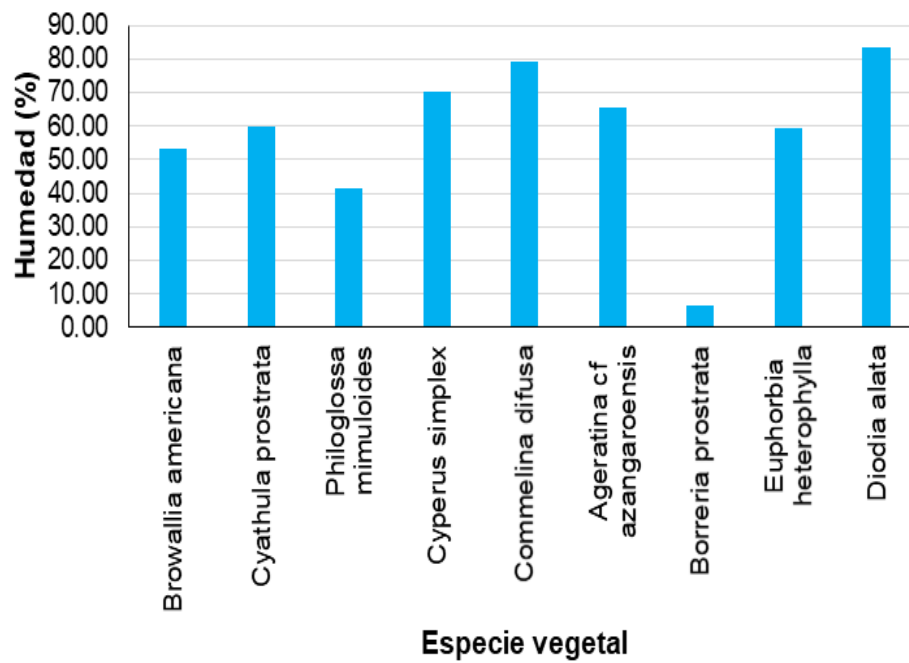


Figura 23. Humedad (%) en el sistema radicular de las especies identificadas



Figura 24. Parcela agrícola de cacao del caserío Picoruyacu Alto ubicado en el distrito de Castillo Grande



Figura 25. Medición para realizar la calicata para muestreo de suelo

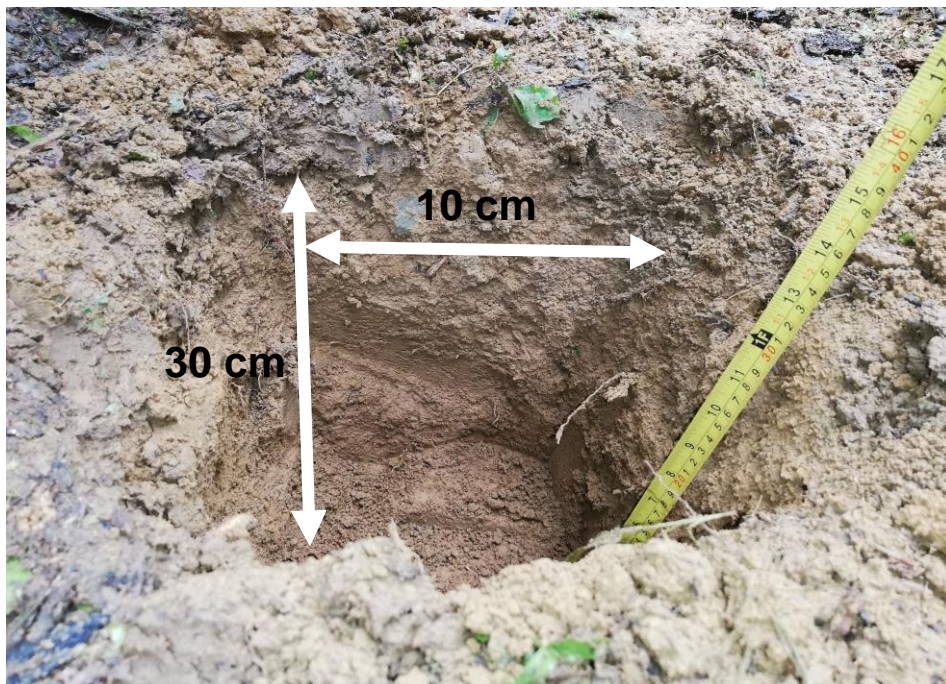


Figura 26. Calicata de 10 cm (ancho) x 10 cm (largo) x 30 cm (profundidad)



Figura 27. Submuestras del suelo



Figura 28. Homogenización de las submuestras para obtener una sola



Figura 29. Submuestras de suelo tamizado y homogenizado para el análisis de contenido de cadmio



Figura 30. Filtración de las muestras después de la centrifugación



Figura 31. Extracto de las muestras para su análisis de contenido de cadmio en el espectrofotómetro de absorción atómica



Figura 32. Colecta de especies vegetales herbáceas



Figura 33. Recolección de datos morfológicos de las especies vegetales



Figura 34. Pesado del vástago y sistema radicular de las especies vegetales



Figura 35. Secado en la estufa para el peso en seco de las especies vegetales



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS**

MUSEO DE HISTORIA NATURAL



EL QUE SUSCRIBE:

Diego Franco Paredes Burneo, Investigador colaborador del Laboratorio de Florística del Museo de Historia Natural UNMSM:

CERTIFICA:

Que las especies vegetales identificadas pertenecientes al caserío Picuruyacu Alto del distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, mostradas por la Bach. Angie Tatyana Fernández Escobar, ante mi persona, pertenecen a las especies presentadas en el siguiente cuadro:

Familia	Especie	Autor
Solanaceae	<i>Browallia americana</i>	L.
Amaranthaceae	<i>Cyathula prostrata</i>	(L.) Blume
Asteraceae	<i>Philoglossa mimuloides</i>	(Hieron.) H. Rob. & Cuatrec.
	<i>Ageratina cf azangaroensis</i>	(Sch. Bip. ex Wedd.) R.M. King & H. Rob.
Cyperaceae	<i>Cyperus simplex</i>	Kunth
Commelinaceae		
e	<i>Commelina difusa</i>	L.
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i>	L.
Rubiaceae	<i>Borreria prostrata</i>	(Aubl.) DC.
	<i>Diodia alata</i>	Nees & Mart.

El cuadro mostrado consta de 7 familias con un total de 9 especies.

Se expide la presente a solicitud del interesado para los fines pertinentes.

Lima, 25 de julio del 2019.

Diego Franco Paredes Burneo
Investigador colaborador del
Museo de Historia Natural
UNMSM

Figura 36. Certificación de especies vegetales

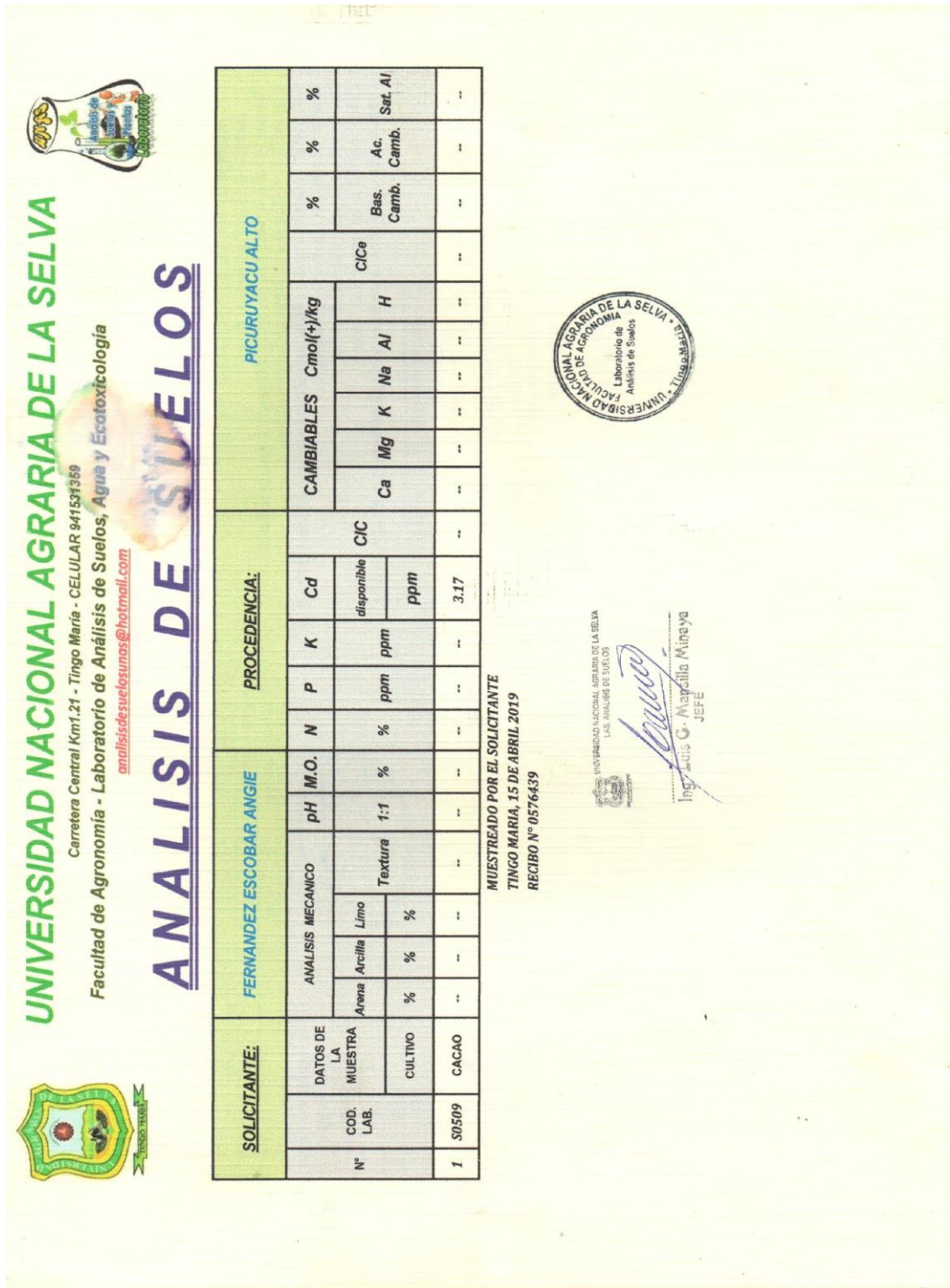


Figura 37. Análisis de cadmio en el suelo de Picuruyacu Alto



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : ANGIE TATYANA FERNANDEZ ESCOBAR
PROCEDENCIA : HUANUCO/ LEONCIO PRADO/ CASTILLO GRANDE/
CASERIO DE PICUROYACU ALTO
MUESTRA : TALLO Y HOJAS
REFERENCIA : H.R. 67881
BOLETA : 2849
FECHA : 29/04/2019

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
1801	E1-I	1.55
1802	E2-I	10.10
1803	E4-I	1.98
1804	E5-I	3.78
1805	E8-I	1.48
1806	E9-I	4.35
1807	E13-I	1.00
1808	E14-I	3.43
1809	E19-I	1.15



Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Figura 38. Análisis de cadmio en el vástago de las especies vegetales



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : ANGIE TATYANA FERNANDEZ ESCOBAR
 PROCEDENCIA : HUANUCO/ LEONCIO PRADO/ CASTILLO GRANDE/
 CASERIO DE PICUROYACU ALTO
 MUESTRA : RAICES
 REFERENCIA : H.R. 67882
 BOLETA : 2849
 FECHA : 29/04/2019

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
1810	E1-II	6.78
1811	E2-II	11.15
1812	E4-II	4.60
1813	E5-II	4.23
1814	E8-II	4.33
1815	E9-II	6.03
1816	E13-II	2.75
1817	E14-II	6.13
1818	E19-II	4.55



Dr. Sady García Bendezu
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Figura 39. Análisis de cadmio en la raíz de las especies vegetales

N°	Código	Área	Individuos	Semillas	Flor
1	E-1	1	3		X
2	E-2	4	10	X	
3	E-3	4	2		X
4	E-4	5	9	X	X
5	E-5	4	12	X	
6	E-6	4	1		X
7	E-7	5	2		
8	E-8	4	10		X
9	E-9	5	14		X
10	E-10	4	2	X	X
11	E-11	6	5		X
12	E-12	4	1		X
13	E-13	4	11	X	
14	E-14	3	8	X	X
15	E-15	5	3	X	
16	E-16	4	1	X	
17	E-17	4	2	X	
18	E-18	5	2	X	X
19	E-19	4	5	X	
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Figura 40. Ficha de evaluación de las especies vegetales

Anexo 3. Mapa de ubicación

Anexo 4. Mapa de distribución espacial de las especies vegetales