



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE *Brassica rapa* subsp.
oleífera (NABO SILVESTRE) EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y
CADMIO EN LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS DEL CANTÓN PENIPE”**

Trabajo de titulación

Tipo: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: ROSALES ARÉVALO FREDY GEOVANNY

VILLAVICENCIO CRIOLLO MARÍA BELÉN

TUTORA: ING. SOFÍA CAROLINA GODOY PONCE

Riobamba – Ecuador

2018

©2018, Rosales Arévalo Fredy Geovanny y Villavicencio Criollo María Belén.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo proyecto de investigación: “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE *Brassica rapa* subsp. *oleífera* (nabo silvestre) EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DEL CANTÓN PENIPE”, de responsabilidad de los autores: Fredy Geovanny Rosales Arévalo y María Belén Villavicencio Criollo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal de trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Sofía Godoy Ponce.

DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Dra. Yolanda Díaz.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Nosotros, FREDY GEOVANNY ROSALES ARÉVALO y MARÍA BELÉN VILLAVICENCIO CRIOLLO somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual de este Trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fredy Geovanny Rosales Arévalo

C.I.: 0924082274

María Belén Villavicencio Criollo

C.I.: 0603743584

Nosotros, FREDY GEOVANNY ROSALES ARÉVALO y MARÍA BELÉN VILLAVICENCIO CRIOLLO, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, se asume la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 15 de febrero de 2018

Fredy Geovanny Rosales Arévalo

C.I.: 0924082274

María Belén Villavicencio Criollo

C.I.: 0603743584

DEDICATORIA

El esfuerzo de los conocimientos adquiridos en la vida estudiantil y universitaria no solo fomentaron el enriquecimiento de la sabiduría y la profesión de excelencia, también se involucraron valores como la perseverancia, constancia y amistad, por tal razón, dedico este trabajo de titulación a mi grupo de amigos, mis padres y al Ing. Víctor Suárez, quienes me apoyaron constantemente e incentivaron a no rendirme ante los obstáculos y enfrentarme ante la enfermedad con claridad y esperanza.

Fredy Geovanny

La sabiduría engrandece al ser humano. El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios quien ha sido la luz y la guía, a mis padres por sus sabios consejos, el amor y el apoyo incondicional, a mis hermanos, sobrinas, tíos, primos, amigos y docentes por sus enseñanzas y conocimientos impartidos. Pues aquí termina una etapa de mi vida e inicia una nueva para seguir esforzándome más por cumplir mis sueños. El éxito en la vida no se mide por lo que logras sino por los obstáculos que superas.

María Belén

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, todo poderoso por guiarnos y acompañarnos siempre en la vida, con su bendición y misericordia.

Gracias a mi madre, mi pilar, mi numen glorioso y terrenal, a quien debo mi vida y mis éxitos por su bienestar y felicidad.

Agradezco a mi padre, ejemplo de amor y perseverancia por continuar apoyándome y brindando su consejo en toda decisión y acción.

Agradezco a mis amigos y amigas, quienes en momentos de incertidumbre supieron estar presentes y brindarme su amistad incondicional.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por permitirme crecer como profesional y abrir puertas al conocimiento de vanguardia.

Gracias a la Ing. Sofía Godoy y Dra. Yolanda Díaz, quienes lograron encaminar con claridad y entendimiento este trabajo de titulación.

Y, gracias al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe, y su Departamento de Gestión de Impacto Ambiental y Salud Pública, por abrirnos las puertas a resolver y brindar soluciones biotecnológicas para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Fredy Geovanny & María Belén

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACION.....	iii
DERECHO INTELECTUAL	iv
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE GRAFICOS.....	xi
INDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.	1
CAPITULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.2. MARCO CONCEPTUAL.....	7
1.2.1 METALES PESADOS.....	7
1.2.2 MOVILIDAD DE LOS METALES PESADOS	7
1.2.3 CADMIO.....	8
1.2.4 PLOMO.....	9
1.2.5 TOXICIDAD DE CADMIO Y PLOMO.	11
1.2.6 FITORREMEDIACIÓN.....	12
1.2.7 PROCESO DE FITOACUMULACIÓN EN TEJIDO VEGETAL.....	14
1.2.8 ESPECIES UTILIZADAS PARA FITOACUMULACIÓN	14
1.2.9 MECANISMO DE TOLERANCIA METAL-TEJIDO VEGETAL.....	15
1.2.10 VENTAJAS Y LIMITACIONES EN EL PROCESO DE REMEDIACIÓN.....	15
1.2.11 FACTORES QUE INCIDEN EN EL PROCESO DE REMEDIACIÓN.....	16
1.2.12 BRASSICA RAPA SUBSP. OLEÍFERA	18
CAPITULO II	21

2. MARCO METODOLÓGICO.....	21
2.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.2 UNIDAD DE ANÁLISIS	22
2.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO	22
2.4 TAMAÑO DE LA MUESTRA	22
2.5 SELECCIÓN DE LA MUESTRA	23
2.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS	24
2.7 METODOLOGÍA.....	25
2.7.1 ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE LAS MUESTRAS.....	25
2.7.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES.	28
2.7.3 INTERPRETACIÓN DESCRIPTIVA DE EVOLUCIÓN DE LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN LAS UNIDADES DE ANÁLISIS.	33
CAPITULO III.....	36
3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
3.1 ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE LAS MUESTRAS.....	36
3.1.1 TEMPERATURA.....	37
3.1.2 HUMEDAD.	38
3.1.3 POTENCIAL DE HIDRÓGENO.	39
3.1.4 MATERIA ORGÁNICA.	40
3.2 INTERPRETACIÓN DESCRIPTIVA DE EVOLUCIÓN DE LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN LAS UNIDADES DE ANÁLISIS.	42
3.2.1 CONCENTRACIONES DE PLOMO Y CADMIO EN LAS UNIDADES DE ANÁLISIS.....	42
3.2.2 REDUCCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN LOS LODOS RESIDUALES.	45
3.2.3 ABSORCIÓN DE CADMIO Y PLOMO POR LA ESPECIE VEGETAL BRASSICA RAPA SUBSP. OLEÍFERA.	49
3.2.4 BALANCE DE MASAS DE CADMIO Y PLOMO AL FINALIZAR EL PROCESO	53
3.3 DISCUSIÓN	56
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Especies vegetales empleadas para bio-acumular metales, citadas por Delgadillo et al., 2011.....	14
Tabla 2-1: Categorización taxonómica vegetal de la especie <i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleífera</i>	18
Tabla 3-1: Ficha técnica e informativa de la especie <i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleífera</i>	20
Tabla 1-2: Análisis físico químico inicial, intermedio y final de las unidades experimentales.	26
Tabla 2-2: Metodología aplicada en la valoración de los parámetros analizados en etapa inicial, intermedia y final.	26
Tabla 3-2: Caracterización físico-química de unidades de experimentales con respecto a la línea de análisis.	27
Tabla 1-3: Parámetros de control promedios / mes de los lodos residuales en tres unidades experimentales.	36
Tabla 2-3: Concentración inicial de plomo y cadmio en lodos residuales.....	42
Tabla 3-3: Concentración intermedia y final de plomo y cadmio en lodos residuales de cada unidad experimental en el tiempo inicial y final.	43
Tabla 4-3: Concentración final de plomo y cadmio en los lodos residuales de cada unidad experimental.....	44
Tabla 5-3: Criterio de evaluación en la reducción de cadmio y plomo en las tres unidades experimentales durante el tiempo de análisis.	45
Tabla 6-3: Cálculo porcentual de la concentración de cadmio en la especie <i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleífera</i> en 2 unidades experimentales (UE2 y UE3).	51
Tabla 7-3: Cálculo porcentual de la concentración de plomo en la especie <i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleífera</i> en 2 unidades experimentales (UE2 y UE3).	52
Tabla 8-3: Pérdidas de la concentración de cadmio en mg/Kg y porcentaje en las tres unidades experimentales al culminar el proceso.	53
Tabla 9-3: Pérdidas de la concentración de plomo en mg/Kg y porcentaje en las tres unidades experimentales al culminar el proceso.	55

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1-2: Semillas de la especie <i>Brassica rapa subsp. oleifera</i>	23
Gráfico 2-2: Planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera cantonal del cantón Penipe.....	23
Gráfico 3-2: Muestreo del lodo residual en la planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera cantonal del cantón Penipe.	24
Gráfico 4-2: Descripción técnica del higrómetro en la medición de humedad y potencial de hidrogeno de los lodos residuales en UE1, UE2 y UE3.	25
Gráfico 5-2: Diseño de celdas de cultivo para las unidades experimentales 1, 2 y 3.	29
Gráfico 6-2: Preparación del lodo residual en el espacio dispuesto por el GAD del cantón Penipe.....	30
Gráfico 7-2: Germinación y trasplante de la especie <i>Brassica rapa subsp. oleifera</i>	31
Gráfico 8-2: Esquema de la composición de las 3 unidades experimentales.....	32
Gráfico 9-2: Esquemización de la concentración de plomo y cadmio en las unidades experimentales con relación al tiempo de análisis de la experimentación.	34
Gráfico 10-2: Esquema del balance de masa de los contaminantes plomo y cadmio en el proceso de reducción y absorción.....	35
Gráfico 1-3: Temperaturas promedio de los lodos residuales en 3 unidades experimentales en función del tiempo de crecimiento vegetativo.	37
Gráfico 2-3: Humedad promedio de los lodos residuales en 3 unidades experimentales respecto al tiempo de crecimiento vegetativo.....	38
Gráfico 3-3: Potencial de hidrógeno promedio de los lodos residuales en 3 unidades experimentales respecto al tiempo de crecimiento vegetativo.	40
Gráfico 4-3: Porcentaje de materia orgánica presente en los lodos residuales en 3 unidades experimentales respecto al tiempo investigativo inicial, intermedio y final.	41
Gráfico 5-3: Esquemización de la concentración de plomo y cadmio en las unidades experimentales con relación al tiempo de análisis de la experimentación.	45
Gráfico 6-3: Reducción de Cadmio en los lodos residuales de la PTAR del cantón Penipe.	46
Gráfico 7-3: Porcentaje de eficiencia de reducción de cadmio en el lodo residual de las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3) en 247 días.....	47
Gráfico 8-3: Reducción de Plomo en los lodos residuales de la PTAR del cantón Penipe.....	47
Gráfico 9-3: Crecimiento longitudinal de la especie <i>Brassica rapa subsp. oleifera</i> en 247 días de evaluación.	48
Gráfico 10-3: Crecimiento longitudinal de la especie <i>Brassica rapa subsp. oleifera</i> en 247 días de evaluación.....	49

Gráfico 11-3: Concentración de plomo y cadmio de Brassica rapa subsp oleífera en las unidades experimentales (UE2 y UE3) al finalizar los 247 días de experimentación.....	50
Gráfico 12-3: Análisis comparativo (%) de la acumulación de cadmio en la especie Brassica rapa subsp oleífera en la UE2 y UE3.	51
Gráfico 13-3: Análisis comparativo (%) de la acumulación de plomo en la especie Brassica rapa subsp oleífera en la UE2 y UE3.	52
Gráfico 14-3: Balance de masa para la eficiencia de Brassica rapa subsp oleífera en la reducción de cadmio de la unidad experimental 2.	54
Gráfico 15-3: Balance de masa para la eficiencia de Brassica rapa subsp oleífera en la reducción de plomo de la unidad experimental 2.....	56

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Datos diarios de los parámetros de control (temperatura, humedad y pH) analizados en los lodos residuales de las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3) durante 247 días.

Anexo B: Análisis de reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales de las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3).

Anexo C: Análisis de absorción de plomo y cadmio en el tejido vegetal de Brassica rapa subsp. oleífera en las unidades experimentales (UE2 y UE3).

Anexo D: Fotografías de la evaluación de la eficiencia de Brassica rapa subsp. oleífera (nabo silvestre) en la reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe.

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la eficiencia del NABO SILVESTRE (*Brassica rapa* subsp. *oleífera*) en la reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe - provincia de Chimborazo, así como la caracterización físico y química del lodo residual en tres unidades experimentales (UE) antes, durante y después del proceso de reducción con *Brassica rapa* subsp. *oleífera*. Esta investigación aplicó un tratamiento previo del lodo residual para ser dispuestos en tres celdas construidas denominadas: UE1 (lodo), UE2 (lodo + tejido vegetal) y UE3 (lodo + tejido vegetal + suelo fértil); predominando la observación descriptiva y el comportamiento del fenómeno de estudio, donde se controló parámetros como humedad, temperatura, pH y materia orgánica, además del crecimiento vegetativo de la especie. Mediante espectrofotometría de absorción atómica se permitió analizar los metales pesados (Cd y Pb) en el tejido vegetal y el suelo de las unidades experimentales; donde se identificó que la especie vegetal estudiada logró reducir un 46,09 % de cadmio y 5,92% de plomo en 247 días de tratamiento en la unidad experimental 2, misma que contenía el lodo residual y la germinación de la especie vegetal, además que en ella se generó menos cantidad de lixiviado del contaminante pues su concentración de materia orgánica era inferior, la humedad fue considerada relativamente óptima lo que evitó la disolución de los contaminantes, y haciendo factible la movilidad del cadmio y plomo hacia el tejido vegetal. Por lo tanto, se recomienda el uso de la especie vegetal en un medio in-situ porque permite reducir costo de control y monitoreo ambiental, además de proporcionar un crecimiento vegetativo espontáneo.

Palabras clave: <BIOTECNOLOGIA>, <LODO RESIDUAL>, <REDUCCION DE METALES>, < NABO SILVESTRE (*Brassica rapa* subsp. *oleífera*)>, <PLOMO (Pb)>, <CADMIO (Cd)>, <PENIPE (CANTÓN)>.

ABSTRACT

The purpose of the research was to evaluate the efficiency of wild turnip greens (*Brassica rapa* subsp. *oleifera*) in the reduction of lead and cadmium in the sewage sludge at the water treatment plant located in Penipe County, Chimborazo Province as well as the physical and chemical characterization of de sewage sludge in three experimental unit (UE) before, while and after the reduction process with *Brassica rapa* subsp. *oleifera*. This research applied a previous treatment for the sewage sludge to be separated into three built cages called: UE1 (sludge), UE2 (sludge + plant tissue) and UE3 (sludge + plant tissue + fertile soil). The descriptive observation and the behavior of the phenomenon to be studied were the predominant aspects where some parameters such as humidity, temperature, pH, and organic matter were controlled as well as the vegetative growth of the species. Through the atomic absorption spectrophotometry, it was possible to analyze the heavy metals like cadmium and lead (Cd and Pb) in the plant tissue and the soil of the experimental units. It was possible to identify that the plant species studied reduced the levels of cadmium in a 46.09% and lead in 5.92% in a 247 – treatment – day in the experimental unit number 2, the one that contained sewage sludge and the plant species germination. In addition, it generated less amount of leached from the pollutant since its concentration of organic matter was lower, humidity was considered relatively optimal, this prevented the dissolution of the pollutants and made cadmium and lead move into the plant tissue. Therefore, it is recommended to use the plant species in an in-situ environment since it allows reducing the control cost and environmental monitoring, besides providing a spontaneous vegetative growth.

Kew words: <BIOTECHNOLOGY>, <SEWAGE SLUDGE>, <METALS REDUCTION>, <WILD TURNIP GREENS (*BRASSICA RAPA* SUBSP. *OLEÍFERA*)>, <LEAD (Pb)>, <CADMIUM (Cd)>, <PENIPE (COUNTY)>.

INTRODUCCIÓN.

Identificación del problema.

El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad del Cantón Penipe ha implementado un sistema de alcantarillado en tres sectores urbanos: la cabecera cantonal, el Altar y Bayushig-Matus, para descargar sus aguas domésticas o sanitarias y ser monitoreadas al llegar a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de cada sector.

El control de las descargas urbanas se ha monitoreado en periodos semestrales a partir de la fecha de funcionamiento de cada una de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; se realizan controles de los parámetros físicos y químicos de los lodos que se generan, para posterior a ello ser dispuestas en quebradas que se dirigen hacia el Río Chambo. Los lodos tienen su disposición final en el botadero a cielo abierto de la ciudad de Riobamba sin previo tratamiento.

Los resultados del último análisis efectuado en septiembre del 2015 por el laboratorio de ensayos ALS CORPLABEC S.A solicitados por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Penipe en las muestras de lodos residuales de las parroquias El Altar y Bayushig-Matus, no reportan incumplimiento según los límites máximos permisibles; mientras que los resultados de los lodos de la planta de tratamiento de agua residual de la cabecera cantonal presentan criterios de calidad de suelo fuera del límite máximo permisible, presentando incidencia de 21,8 mg/Kg de plomo y 1,15 mg/Kg de cadmio (ANEXO B). La fuente del contaminante es desconocida por el GAD Municipal del Cantón Penipe.

Diferentes investigaciones han demostrado que la toxicidad de los metales pesados, especialmente del plomo y cadmio es muy alta. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, puede ser causa de daños irreversibles en los diferentes microorganismos y organismos vivos. A nivel agrícola no es recomendable, debido a que muchas especies vegetales comestibles pueden absorber este metal en sus estructuras y su desarrollo del crecimiento es afectado (Prieto M. et al, 2009, pp. 30-33)

Algunas especies vegetales silvestres pueden acumular y tolerar grandes concentraciones de metales pesados en las raíces, tallos y brotes, gracias a su adaptabilidad de las condiciones edáficas y climáticas de la zona, permitiendo la biodisponibilidad de asimilar los contaminantes inorgánicos, conocidas a nivel científico como hiper-acumuladoras por su movilidad de transportar los contaminantes a los diferentes tejidos estructurales vegetales. (De Haro A. et al., 2003, pp. 266)

Para el tratamiento de los suelos contaminados con metales pesados, en este caso plomo y cadmio, se puede aplicar técnicas de fito-reducción por procesos de absorción y almacenamiento en las partes aéreas de una especie vegetal seleccionada adecuadamente según las condiciones de desarrollo y características bioacumuladoras para ser consideradas óptimas en hiper-acumulación de metaloides (Díez F., 2009, pp. 27-28).

Desde 1980 se han identificado más de 400 especies vegetativas con características hiper-acumuladoras de contaminantes, siendo la familia de las *Brassicaceae* las que presentan mayor número de taxones dispuestos en 11 géneros y 87 especies con capacidad de ser bioacumuladoras potentes de metales pesados por su disponibilidad y adaptabilidad para crecer en diferentes pisos climático de distinto periodos anuales (Vara M. y De Oliveira H., 2003, pp. 287).

Conociendo la problemática que causa el plomo y cadmio en el ambiente y su incidencia en la salud, se pretende disminuir la concentración de los metales utilizando la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera*, que es una hortaliza perteneciente a la familia de las *Brassicaceae*, cuya presencia se encuentra en las zonas territoriales de la provincia de Chimborazo, en Ecuador. Por tal motivo se formula la pregunta central del problema:

¿Es eficiente la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera* para reducir el plomo y cadmio proveniente de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe?

Justificación de la investigación.

En la actualidad la contaminación por metales pesados es una variable por su afectación al medio ambiente y a la salud en cualquier parte del mundo. En nuestro país no es una excepción, a pesar de las normas y regulaciones para el uso de componentes con plomo y cadmio en actividades agrícolas e industriales, aún existen actividades que no controlan su uso y aumentan la acumulación del metal en suelo, agua y aire.

En este estudio propuesto se utilizará una especie vegetativa de la familia de las *Crucíferas* o *Brassicaceae*, que tienen características bioacumuladoras de metales pesados en cortos periodos de crecimiento (Coyago, E. & Bonilla, S., 2016: pp. 37). La aplicación de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera* llamada también nabo silvestre, en los lodos residuales de la cabecera cantonal de Penipe, permitirá evaluar el porcentaje de degradación de la concentración elevada de plomo y cadmio presentes, atendiendo así a la problemática del GAD Municipal del Cantón Penipe, pues esta especie bajo antecedentes documentados tiene cualidades de rápido crecimiento y adaptabilidad, lo que la convierte en una especie de interés para realizar ensayos de laboratorio y analizar su comportamiento ante ciertos agentes contaminantes.

Esta propuesta nació al contar con los análisis de laboratorio de los lodos de la PTAR de la cabecera cantonal de Penipe, que establecieron que son el cadmio y el plomo los metales pesados con mayor concentración que están fuera de la normativa vigente, y al saber que *Brassica rapa* subsp. *oleífera* es una especie de fácil adaptabilidad y crecimiento en la provincia de Chimborazo comúnmente conocida como “nabo silvestre”, y que en nuestra localidad es aprovechada para alimentación tanto del ser humano como del ganado por su contenido nutricional hidratante de 90 g. /100g, proteína 2,89 g. /100g, fibras 2,2 g. /100g y 41.6 Kcal por cada 100 gramos en base fresca (Benavides J., y Chamorro E., 2013, pp. 28).

Además tiene la cualidad de ser resistente a las heladas con un tiempo de madurez vegetativa bianual (Perdomo F., 2009, pp. 1); que se ajusta a las exigencias y requerimientos investigativos del área del Ingeniero en Biotecnología Ambiental en procesos de remediación ambiental.

Por lo tanto, la implementación de procesos biotecnológicos con su correspondiente aplicación y evaluación descriptiva, permitirán el desarrollo de nuevos tratamientos de recuperación de los diferentes tipos de lodos contaminado con metales pesados. De una manera estéticamente

amigable con el entorno, enmarcada en los requerimientos de la sociedad, y dentro de los lineamientos de políticas públicas nacional, local e institucional

Esta investigación fue auspiciada por el GAD Municipal del Cantón Penipe, y beneficiará directamente a los actores locales de la cabecera cantonal de Penipe, cumpliendo con el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD, 2013) en su artículo 54, literal k: “Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales”, y Art. 55, literal d: “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” como función y competencia exclusiva de los GAD municipales cantonales en el Ecuador.

Objetivos de la investigación.

Objetivo general.

- Evaluar la eficiencia de *Brassica rapa* subsp. *oleífera* (nabo silvestre) en la reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe.

Objetivos específicos.

- Caracterizar físico y químicamente el lodo residual en las tres unidades experimentales antes y después del proceso de reducción con *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.
- Construir tres unidades experimentales para el desarrollo del proceso de reducción con *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.
- Evaluar la reducción de plomo y cadmio en función del tiempo con *Brassica rapa* subsp. *oleífera* en tres unidades experimentales.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Gran parte de la contaminación por metales pesados en especial el plomo y cadmio, que afecta al ambiente, ha sido inducida por el hombre a través del empleo de prácticas agrícolas inadecuadas, procesos industriales, explotación minera, aguas residuales, y gran variedad de productos como baterías, componentes eléctricos, aleaciones de metales, pinturas, aerosoles, cauchos, plaguicidas, fertilizantes y muchos otros, que son eliminados en ambientes naturales y que causan un serio impacto en la salud humana y la sobrevivencia de especies animales y vegetales de las reservas ecológicas. (Rojas C., 2010, pp. 5)

En el estudio realizado por Arenas y Hernández (2012, pp. 7, 59), involucran la toxicidad de los metales pesados mercurio, cadmio y plomo como bio-acumuladores en la cadena trófica por mantenerse dentro de las moléculas vegetativas, siendo ingeridos por animales y humanos, causando daños muy severos a la salud. Además menciona algunas especies de la familia *Brassicaceae* como *Brassica juncea*, *Brassica nigra Koch*, *Brassica campestris o rapa*, *Brassica napus* y *Brassica oleracea*, demostrando valores significativos de tolerancia y absorción (Angelova & Ivanov, 2009, pp. 449), explicado su potencial acumulador de trazas tóxicas de metales pesados para fines de fitorremediación (Bharagava, et al, 2008, pp. 8317). Para efecto de su estudio utilizó la especie *Brassica nigra* (con similitudes estructurales a la especie *Brassica rapa subsp. oleífera*), para determinar la acumulación de cadmio y mercurio en suelos, lo que concluyó con efectividad de absorbanza de 15 a 20 ppm de cadmio y 77 a 111 ppm de mercurio.

En la investigación de Bernal, Clemente, Vázquez, & Walker, (2007, pp. 67), indicó que en el año 1998 afectó a 4.286 ha de suelo, de los cuales el 59,7 % eran suelos agrícolas debido al flujo de lodo pirítico proveniente de la mina de Aznalcóllar. Los responsables de la contaminación fueron As, Cd, Cu, Pb, y Zn, este caso dramático de contaminación permitió implementar técnicas biológicas de recuperación de suelos contaminados fundamentados en el

uso de especies vegetales (fitorremediación), mediante una variedad de *Brassicaceae*: mostaza india (*Brassica Juncea*), una especie agrícola de alta capacidad en acumular metales pesados en su estructura aérea, complementado con la adecuación y mejoras del suelo con inserción de materia orgánica y caliza como control de pH del suelo.

Rodríguez et al, (2006, pp. 239-245), presentó un trabajo donde evaluó a seis especies vegetales (*Cenchrus ciliaris*, *Helianthus annuus*, *Ricinus communis*, *Nicotiana tabacum*, *Sorghum sudanense* y *Brassica campestris o silvestris*) para descontaminar suelos con plomo en diferentes concentraciones (0, 500 y 1000 mg de Pb kg⁻¹ de suelo), y probar su capacidad hiper-acumuladora, concluyendo con lo siguiente: “En el tratamiento 500 mg de Pb kg⁻¹ de suelo el orden de estas capacidades ($P \leq 0.05$) fueron: *N. tabacum* (3.27 y 3.08 mg de Pb kg⁻¹ en la materia seca total y en la parte aérea respectivamente) > *R. communis* > *C. ciliaris* > *S. sudanense* > *B. campestris* > *H. annuus*. Mientras que en el tratamiento 1000 mg de Pb kg⁻¹ de suelo el orden ($P \leq 0.05$) fue: *R. communis* (6.79 y 3.94 mg de Pb kg⁻¹ en la materia seca total y parte aérea respectivamente) > *S. sudanense* > *C. ciliaris* > *H. annuus* > *N. tabacum* = *B. campestris*.”, demostrando la captación del metal pesado pero sin considerarlas hiper-acumuladora de plomo.

Guevara (2011, pp. 15), analizó el poder bioacumulador de metales pesados cromo, plomo y zinc en seis tipos de tubérculos: papa (*Solanum Tuberosum*), rábano (*Raphanus Sativus L.*), malanga (*Xanthosoma Sagittifolium*), el camote (*Ipomoea Batatas*), papa china (*Colocasia Esculenta*) y yuca (*Manihot Spondémicos*); análisis que determinó que los tubérculos factibles para permitir el proceso de remediador de metales son la Papa, el Rábano y la Papa China. En este estudio realizado se identificó el poder de absorción de cromo, zinc y plomo del genero *Raphanus* (rábano) con un 35% de eficiencia, ocupando el segundo lugar de rendimiento en fitorremediación entre los seis géneros vegetativos.

Bonilla V. (2013, pp. 31-32), presentó diferentes tipos de plantas utilizadas en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo, tales como: maíz (*Zea mays*), mostaza parda (*Brassica juncea*), nabo (*Brassica rapa*), amaranto (*Amarantos hybridus*), acelga (*Beta vulgaris*) y alfalfa (*Medicago sativa*); basándose en datos bibliográficos, condiciones de pisos climáticos y tiempos de cultivos para el desarrollo vegetativo de cada especie, seleccionó a tres géneros: *Amarantos hybridus*, *Beta vukgaris* y *Medicago sativa*, para reducir el contaminante plomo en diferentes concentraciones dispuestas en las muestras de suelo a tratar. Se considera

en este estudio dos especies del género *Brassica* como plantas degradadoras de plomo, las cuales la autora menciona, pero no realiza la experimentación.

Por lo tanto no existen antecedentes específicos sobre la aplicabilidad de *Brassica rapa subsp. Oleífera* para biorremediar suelos contaminados con metales pesados y en especial del plomo y cadmio. Además en el cantón Penipe la innovación biotecnológica y su aplicabilidad se puede fomentar con excelentes resultados.

1.2. Marco conceptual

1.2.1 Metales Pesados

Los metales pesados (Cd, Cr, Zn, Pb, Fe, Ni, etc.) se encuentran de manera natural en diversos estratos de la corteza terrestre; sin embargo, varias actividades antropogénicas como la minería, industria, experimentación nuclear, electrotecnia, metalúrgica, tecnología y agricultura han acelerado el proceso de liberación de los metales hacia los ecosistemas, causando graves problemas ambientales y estableciendo un grave riesgo a la salud humana (Das & Ranjan, 2017, pp. 7).

1.2.2 Movilidad de los metales pesados

La dinámica de los metales pesados presentes en los suelos no se comportan como elementos inalterables y estáticos, puesto que siguen un esquema de transporte descritos por Navarro et al., (2007, pp. 3) a continuación:

- Movilización a las aguas superficiales o subterráneas.
- Transferencia a la atmósfera por volatilización.
- Absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas.
- Retención de metales pesados en el suelo de distintas maneras: disueltos o fijados, retenidos por adsorción, complejación y precipitación.

Para Han et al. (2003, pp.113), la movilidad de los metales pesados en el suelo se caracterizan por una retención rápida inicial seguida de varias reacciones lentas, lo que va a depender del metaloide, propiedad del suelo, tiempo de retención y nivel de inserción; para este último aspecto Cruz y Guzmán (2007, pp. 59-66) determinan la movilización inorgánica por metales pesados mediante la absorción en plantas por formación de complejos moleculares en las estructuras vegetales, retención en el suelo por fijación directa e indirecta, volatilización hacia la atmósfera, lixiviación por fuerza gravitación terrestre de los contaminantes hacia aguas subterráneas, disolución y precipitación hacia aguas superficiales y demás recursos que se incorporan posteriormente a la cadena trófica.

Los metaloides cadmio y plomo no tiene una función biológica conocida en los seres vivos, causando daños irreversibles en concentraciones elevadas, siendo tóxicos para el organismo vivo, por lo que su movilidad en la naturaleza se determina bajo condiciones ambientales como temperatura, acidificación y humedad del suelo, variando así la composición estructural del suelo, formaciones iónicas, pH y la actividad microbiana, incidiendo su movilidad o retención por largo tiempo (Sahuquillo et al., 2003, pp. 152-154), quedando acumulados en las primeras franjas de suelo para luego ser lixiviados entre los espacios porosos a tiempos indistintos según la estructura física del suelo como textura, consistencia, compactación, profundidad radicular, entre otros y llegar a mantos acuáticos para ser contaminados. (Montenegro & Malagón, 1990, pp. 797)

1.2.3 Cadmio

“Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68°F). Su punto de fusión de 320.9°C (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F) son inferiores a los del zinc. Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial”. (Lenntech, 2016)

Para el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2010, pp. 37), la mayor fuente natural de cadmio está presente en las actividades volcánicas, siendo alojado en la superficie edáfica y rocas sedimentarias, liberadas por la erosión ambiental; y las actividades antropogénicas para la fundición del zinc y elaboración de baterías níquel-cadmio, como en otras aleaciones y sustancias químicas dispuestas, esparcidas y utilizadas para la industrialización, minería, manufactura, agricultura y demás, las cuales están siendo reguladas para evitar más daños a la salud humana y ambiental.

La Agencia para la Protección Ambiental (EPA, 2000) y la Organización Mundial para la Salud (OMS, 1993), dispusieron en la década de los setenta los límites máximos consumibles para productos que contengan cadmio como advertencia para la salud para su ingesta diaria de 1 mg Cd / Kg peso corporal*día. Mientras que Satarug et al. (2003, pp. 56) determinó el “0.6 mg Cd / Kg peso corporal*d pueden aumentar el riesgo de fractura ósea, cáncer, difusión renal e hipertensión”, discriminando los valores establecidos por la EPA y la OMS como seguro para la humanidad.

El cadmio en los cultivos se debe a la absorción de cadmio del suelo y la velocidad de absorción está influenciada por factores tales como el pH del suelo, salinidad, contenido de humus, las especies y variedades vegetales y la presencia de otros elementos. (PNUMA 2010)

1.2.4 Plomo

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso. El plomo (Pb) es un metal pesado que ocupa el lugar 82 en la tabla periódica con un peso atómico de 207,19. Además posee una densidad relativa (o gravedad específica), de 11,4 s 16°C (61°F)), de coloración azulado, que se vuelve gris mate al empañarse. Es flexible, muy inelástico, se funde a 327,4°C (621,3°F) y ebullición a 1725°C (3164°F). Es relativamente resistente al ataque de los ácidos clorhídrico y sulfúrico. (Lenntech, 2016)

Para la Organización Mundial de la Salud (2016), el plomo es considerado una sustancia tóxica que se está acumulando y afectando en diversos sistemas del organismo, con efectos dañinos especialmente en niños de muy temprana edad. Se estima que en los niños la exposición al plomo causa cada año 600 000 nuevos casos de discapacidad intelectual. La exposición al

plomo se cobra cada año un total estimado de 143 000 vidas, registrándose las tasas más altas de mortalidad en las regiones en desarrollo. Alrededor de la mitad de la carga de morbilidad asociada a la intoxicación por plomo se concentra en la Región de Asia Sudoriental de la OMS, en tanto que la Región del Pacífico Occidental y la Región del Mediterráneo Oriental acaparan una quinta parte cada una.

El plomo se acumula en los huesos y se deposita en dientes hasta llega alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones, con el paso del tiempo. Para evaluar el grado de exposición de plomo en el cuerpo humano, se suele medir la concentración de plomo en células sanguíneas. No existe un reporte oficial a nivel de exposición al plomo que permita ser considerado como seguro, por lo tanto la intoxicación por plomo es totalmente prevenible (OMS, 2016).

El plomo (Pb), es un contaminante altamente tóxico, su presencia en el ambiente se debe principalmente a las actividades humanas como la industria, la minería y la fundición. En los suelos contaminados con Pb es común encontrar también Cd y Zn (Hettiarchchi y Pierzynski, 2002, pp. 365) por afinidad conjunta entre sus propiedades y características metálicas algo parecido ocurre para la triada de Fe-Ni-Co. En estos metales afines la barrera suelo-planta limita “la traslocación de Pb a la cadena alimenticia, sea por procesos de inmovilización química en el suelo según se ha reportado” (Laperche et al., 1997, pp. 2757) o limitando el crecimiento de la planta antes de que el Pb absorbido alcance valores que puedan ser dañinos al ser humano. “El Pb presente en suelos contaminados puede llegar a inhibirse mediante la aplicación de fósforo y óxidos de magnesio; sin embargo estos tratamientos pueden llegar a afectar la biodisponibilidad de otros metales esenciales como el Zn” (Hettiarchchi y Pierzynski, 2002, pp. 570).

Prieto et al. (2009, pp. 30), incida que “en lugares donde se han venido utilizando aguas residuales para el riego agrícola, se reporta una tendencia creciente en las concentraciones de metales en los suelos, por efecto en el tiempo (años) de uso de esta agua, donde las cantidades de metal que se extraen y se miden en estos suelos, se han asociado positivamente con el tiempo de uso de agua residual; mostrando una mayor tasa anual de acumulación de Pb”.

1.2.5 Toxicidad de cadmio y plomo.

Navarro et al. (2007, pp. 4) explica: “la causa primaria del elevado nivel de toxicidad a nivel químico es que los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con moléculas orgánicas. En efecto, estos efectos tóxicos en sistemas biológicos dependen de reacciones con ligandos que son esenciales para su asimilación, y estos ligandos están, a su vez, presentes en gran abundancia en la célula, ya sea formando parte de moléculas de mayores dimensiones, ya sea como moléculas aisladas. En este sentido, cabe destacar la gran afinidad que muestran los metales pesados, como principales ligandos, por grupos sulfhidrilo, radicales amino, fosfato, carboxilo e hidroxilo. El resultado de estas uniones ligando-metal puede ser muy perjudicial para la célula, destacando en este aspecto sobre otros fenómenos, (1) la acción genérica sobre proteínas por inhibición de la actividad o por disrupción en la estructura de las mismas, (2) el desplazamiento de elementos esenciales de su metabolismo estándar, produciendo efectos de deficiencia, y (3) la catálisis de reacciones de generación de moléculas ROS (Reactive Oxygen Species) o radicales libres que provocan fenómenos de estrés oxidativo”.

En sistemas biológicos, las elevadas concentraciones de metales se vuelven tóxicas y conducen a la producción de especies reactivas de oxígeno y radicales libres. Algunos iones metálicos son particularmente reactivos y pueden interferir con la estructura y función de proteínas. (Cherian y Oliveira, 2005, pp. 9378).

A pesar de que varios metales son esenciales para las células animales (ej. Cu, Fe, Mn, Ni, Zn), todos son tóxicos a concentraciones muy altas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016), la toxicidad por los metales cadmio y plomo puede deberse a que producen estrés oxidativo, recombinación genómica, retención ósea, disfunción de varios órganos y sistemas, además de reemplazar a otros metales esenciales en pigmentos o enzimas, alterando su función.

Las diferencias en solubilidad, absorción, transporte y reactividad química de los metales provocarán efectos específicos de toxicidad en el hombre como formaciones cancerígenas, mutaciones genéticas entre otros daños a los órganos y sistemas del organismo como se ve en la figura 1-1 (Stohs et al., 2000, pp. 203).

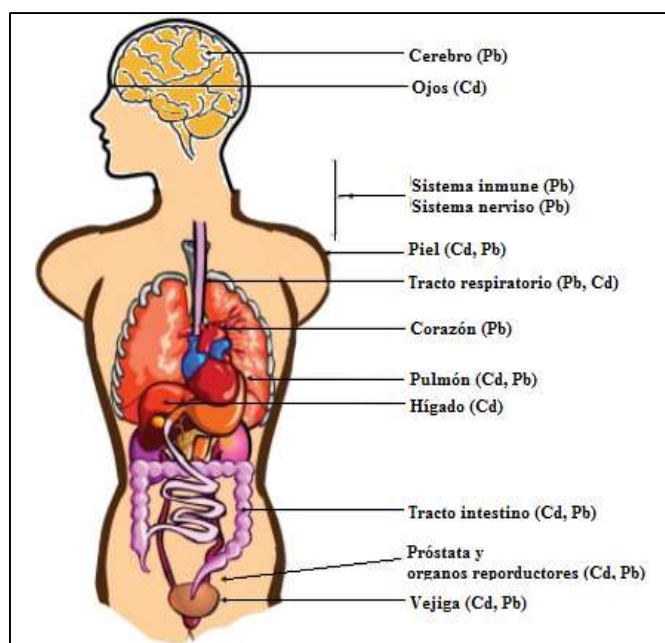


Figura 1-1: Órganos y sistemas del organismo afectados por la toxicidad de plomo y cadmio, según la OMS, 2016.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Los efectos tóxicos por metaloides en la planta generan estrés metabólico, disminución del crecimiento vegetativo, afectación en su estructura, el enrollamiento de hojas, formación de clorosis producida por una deficiencia en hierro, la necrosis, y daño oxidativo, entre otros (Rodríguez et al., 2008, pp. 141), por lo que se puede restringir la absorción de los metales pesados por la especie botánica. Para la especie *Brassica rapa* subsp *oleífera* por medio de una serie de mecanismos fisiológicos y moleculares pueden tolerar la absorción metálica, siendo capaces de sobrevivir en altas concentraciones de plomo y cadmio en su estructura celular vegetativa (Hossain et al., 2012, pp. 3)

1.2.6 Fitorremediación

“La fitorremediación (phyto = planta y remediación= mal por corregir), es uno de los procesos biológicos que utilizan tejidos vegetales para acumular, estabilizar, transferir, remover y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en el suelo, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. Los mecanismos de fitorremediación incluyen la rizo degradación, la fito-extracción, la fito-degradación y la fito-estabilización.” (Agúdelo, Macías, & Suárez, 2005, pp. 59)

Para Godwin, Thorpe & Farrell (2000, pp. 206), es el uso de plantas para recuperar suelos contaminados, es una tecnología in situ no destructiva de bajo costo, está basada en la estimulación de microorganismos degradadores. Consiste en el uso de plantas; sus microorganismos o enzimas asociadas, así como la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar o estabilizar al contaminante.

Según Guevara P. y Montes L. (2014, pp.3), la fitorremediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo. Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes; además, el proceso se realiza in situ evitando costosos transportes.

La fitorremediación puede ser aplicada tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos. Sin embargo, a diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales no pueden ser degradados a formas más simples, por lo tanto, las estrategias de fitorremediación para metales están basadas en la estabilización (inmovilización/adsorción), la acumulación (extracción) y, en algunos casos, la volatilización de elementos como el mercurio o el selenio (Delgadillo, et al., 2011, pp. 598).

“La rizodegradación se lleva a cabo en el suelo que rodea a las raíces. Las sustancias excretadas naturalmente por éstas, suministran nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica. Durante la fitoextracción, los contaminantes son captados por las raíces (fitoacumulación), y posteriormente éstos son traslocados y/o acumulados hacia los tallos y hojas (fitoextracción). En la fitoestabilización, las plantas limitan la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido a la producción en las raíces de compuestos químicos, que pueden adsorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así en la interfase raíces: suelo. La fitodegradación consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación” (Agúdelo, Macías, & Suárez, 2005, pp. 59).

1.2.7 *Proceso de fitoacumulación en tejido vegetal*

Delgadillo et al. (2011, pp. 601) indica que la “fitoextracción o conocida también como fitoacumulación, consiste en la absorción de metales pesados de características contaminantes mediante las raíces vegetativas y se va acumulando en tallos y hojas. El primer punto para la aplicación de esta técnica consiste en seleccionar la o las especies de planta más factible y adecuada para remoción de los metales presentes considerando las características del emplazamiento del contaminante. Una vez completado el desarrollo vegetativo, se empieza a cosechar el tejido vegetal y proceder a su incineración y traslado de las cenizas como un método de disposición final adecuado y seguro. La técnica de fitoacumulación se puede repetir sin límites hasta lograr una concentración de los metales pesados en el suelo que cumplan con las normativas legales para el ambiente como aceptables”.

1.2.8 *Especies utilizadas para fitoacumulación*

En la tabla 1-1, se presentan varias especies vegetal mencionadas por sus nombres científicos que poseen cualidades de acumuladores de metales pesados, según información documentada de varias autorías recopilados por Delgadillo et al. (2011, pp. 601) en su documento “Fitorremediación: una alternativa para eliminar contaminación”.

Tabla 1-1: Especies vegetales empleadas para bio-acumular metales, citadas por Delgadillo et al., 2011.

Especie Vegetal	Metal pesado	Referencia Bibliográfica
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Cd, Hg	Schwartz et al., 2003, pp. 27.
<i>Vertiveria zizanioides</i> <i>Sedum alfredii</i> , y <i>Viola baoshanensis</i> .	Zn, Cd, Pb	Brandt et al., 2006, pp. 278. Wu et al., 2007, 135. Boonyapookana et al., 2005, pp. 127.
<i>Brassica juncea</i> , <i>Helianthus annuus</i> ,	Pb, Cr, Cd	Pilon-Smits et al., 1999, 123-132. Sharma et al., 2004, pp. 2069
<i>Brassica napus</i> , <i>Brassica rapa</i>	Cu, Pb, Cd, Zn	Wenzel et al., 2003, 83-96; Agostini et al., 2003, 139-144;
<i>Pistia stratiotes</i>	Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Chandra & Kulshreshtha, 2004, pp. 313-327.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

1.2.9 Mecanismo de tolerancia metal-tejido vegetal

Los mecanismos de tolerancia según Navarro et al. (2007, pp. 12) citado en Delgadillo et al., 2011, pp. 600, varían entre las distintas especies de plantas a remediar y están determinados por el tipo de metal pesado, eficiencia óptima de absorción, movilidad y retención. Las fases por el cual las plantas absorben y acumulan metales pesados son las siguientes:

Fase I. “Implica la movilidad de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula. La entrada principal de los metales es la raíz, los cuales llegan por difusión en el medio. La raíz está cargada negativamente en sus células, debido a grupos carboxilo presentes, que interaccionan con las cargas positivas de los metaloides, creando una compartición de cargas dinámico que facilita el ingreso hacia el interior celular, ya sea por vía simplástica o apoplástica” (Navarro et al., 2007. Delgadillo et al., 2011, pp. 600).

Fase II. “Una vez dentro del tejido vegetal, las sustancias metálicas son encapsuladas o acomplejadas por medio de la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes generados por las plantas se encuentran los ácidos cítrico, oxálico y málico (ácidos orgánicos), además de histidina y cisteína (aminoácidos), y fitoquelatinas, metaloteínas (péptidos). Las fitoquelatinas son ligandos que están constituidas fundamentalmente por ácido glutámico, glicina y cisteína, unidos por enlaces peptídicos. Las metalotioneinas son polipéptidos formado por unos 70-75 aminoácidos que contiene un alto grado de cisteína, capaz de formar complejos químicos con cationes unidos con moléculas del grupo sulfhidrilo. (Delgadillo et al., 2011, pp. 600).

Fase III. “Involucra un proceso de compartición, distribución y detoxificación, donde el complejo ligando-metal se mantiene retenido en la vacuola vegetal” (Delgadillo et al., 2011, pp. 600).

1.2.10 Ventajas y limitaciones en el proceso de remediación

Volker et al. (2005, pp. 68) refiere entre las principales ventajas los bajos costos del proceso, no necesita excavación del suelo y no se requiere de infraestructura sofisticada. Sin embargo, el empleo del proceso puede afectar los mantos acuíferos cuando no se prevé su ubicación, cuando el suelo es muy permeable y si el tiempo de residencia de la fase acuosa es muy prolongado.

Algunas otras limitaciones de esta tecnología son (US EPA, 2001, pp. 38; Van Deuren et al., 2002, pp. 34):

- En mayor de los casos, no se aplica en suelos con mezcla complejas de contaminantes.
- Una alta cantidad de materia orgánica en el suelo dificulta el proceso de separación y reducción.
- Requiere que las condiciones solubles del contaminante se mantengan elevadas, lo que involucra gran cantidad de agua.
- Se requiere procesos secundarios para el tratamiento de lixiviados, y
- La disposición final de los tejidos vegetales debe tratarse y contenerse, provocando un proceso de tratamiento consiguiente.

1.2.11 Factores que inciden en el proceso de remediación

Volke et al. (2005, pp. 58), indicó que “se necesitan ciertas características fundamentales para un proceso de remediación por metaloides, tanto del suelo, como del ambiente y de los organismos vivos presentes en el sitio, con potencial metabólico para degradar los contaminantes”. De esta manera los procesos de remediación dependen de estos tres factores que deben encontrarse en equilibrio como muestra el gráfico 1-1, a continuación:

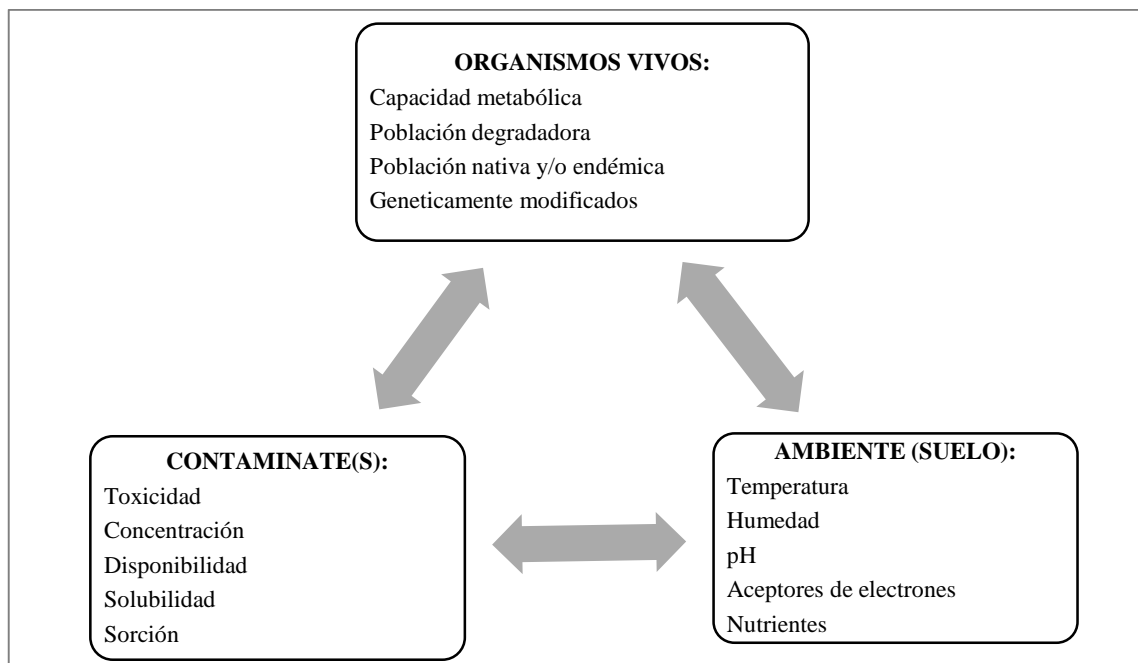


Gráfico 1-1: Factores interrelacionados entre sí que inciden en la remediación de un suelo.

Fuente: Volke et al. (2005, pp. 58).

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

TEMPERATURA.- puede afectar propiedades del contaminante así como la velocidad de un proceso de biorremediación, ya que la velocidad de las reacciones enzimáticas depende de esta. Para Alexander (2004, pp. 302), la presencia de la temperatura afecta al crecimiento y facilidad de aceptación de los metales en las especie vegetales, puesto que difiere en cada especie la temperatura optima de 10 – 25 grados centígrados según el piso climático de germinación, aunque algunas especies pueden desarrollarse bajo temperaturas cero.

HUMEDAD.- también puede afectar los procesos de biorremediación debido a que, en general, aunque todos los microorganismos necesitan agua para subsistir, debe existir un balance, ya que si el contenido de agua es muy bajo, la actividad microbiana se detiene, y si es muy alto, disminuye el intercambio gaseoso a través del suelo (Volke et al., 2005, pp. 59). Puga et al. (2006, pp. 150), indicó que los contenidos de metales pesados en la superficie del suelo tienden acumularse, siendo fácilmente captados por las raíces de los cultivos, debido a que pueden absorber, adherirse y formar parte de los tejidos vegetales, aún más en un suelo en condiciones más húmedas donde los oligoelementos serán reemplazados por los metaloides disueltos formando quelatos reduciéndose poco a poco atreves de la lixiviación, el consumo por las plantas, incidencia de la erosión y la deflación.

MATERIA ORGÁNICA.- la capacidad de retención de agua de un suelo varía en función de las fracciones orgánicas y minerales. En general, los materiales no consolidados (arena y gravas finas) son más fáciles de tratar. Asimismo, a mayor tamaño de partícula en la fracción mineral, la permeabilidad y la aireación son mayores. La capacidad de retención de agua en el suelo aumenta proporcionalmente al contenido de materia orgánica. Un suelo con alto contenido húmico disminuye la movilidad de compuestos inorgánicos y con ello se pueden aplicar otras tecnologías de remediación (Beaudette et al., 2002, pp. 29)

POTENCIAL DE HIDROGENO.- el pH afecta la solubilidad y disponibilidad de macro y micro-nutrientes, la movilidad de metales y la reactividad de minerales. Generalmente, los metales son móviles a pH bajo, en forma de especies iónicas libres o como órgano-metal solubles; al pH alcalino forman carbonatos o fosfatos minerales insolubles. La actividad y crecimiento microbiano son fuertemente afectados por el pH. La mayoría de especies vegetales poseen un rango óptimo de 6,5 a 8,5, permitiéndose controlar el pH con materia orgánica y sosa caustica (Deuren et al., 2002, pp. 53)

1.2.12 *Brassica rapa* subsp. *oleífera*

Es una planta bianual y anual, de fácil dispersión, factible en la polinización por insectos, durante el año produce 8 a 12 hojas erectas de 26 a 35 cm. de alto, las raíces varían en tamaño, pero usualmente son de 7 a 10 cm. de ancho y 15 a 20 cm. de largo. La raíz consiste en un hipocótilo (parte de la planta que está entre la raíz verdadera y las primeras hojas). (Canción et al. 1988, pp. 593)

Tabla 2-1: Categorización taxonómica vegetal de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

Categoría	Nombre taxonómico
Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta (plantas vasculares)
Superdivisión	Spermatofita (plantas con semillas)
División	Magnoliofita (plantas con flor)
Clase	Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Subclase	Dilleniidae
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Género	Brassica
Especie	<i>Brassica rapa</i>
Subespecie	<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>Oleífera</i>

Fuente: Canción et al., 1988, pp. 596

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Su ciclo vegetativo dura de dos a cuatro meses, en función de las condiciones climáticas existentes, siendo más corto cuando las temperaturas son más altas y más largo cuando éstas son más bajas. Pero Prosperan entre aproximadamente 1800 y 3000 m de altura al nivel del mar; es una planta de las zonas del páramo del país donde la humedad requerida para su desarrollo es óptima. (Antrillao U. Ingrid, 2009, pp. 36)

La elección de la fecha de siembra debe basarse en el crecimiento de los nabos, en relación a la época de utilización. Se debe sembrar antes de que comience el déficit hídrico ya que los nabos son muy sensibles a la falta de humedad, una vez que el suelo alcance los 10°C. La semilla es pequeña y necesita una fina y compacta cama de semillas, la profundidad de siembra es de 3 a 4 cm, pudiendo ser sembrado en líneas o al voleo. (Antrillao U. Ingrid, 2009, pp.41)

En cuanto a la fertilización, está determinada por el contenido de nutrientes del suelo, en tanto la fertilización nitrogenada debe ser al menos 138 Kg de N, equivalentes a 300 Kg de Urea/Ha que pueden ser aplicados en una o dos parcialidades. (Antrillao U. Ingrid, 2009, pp. 42)

“Cuando las plantas han absorbido los contaminantes acumulados, pueden ser cosechadas y desechadas. Si los contaminantes químicos orgánicos se degradan en las moléculas como el dióxido de carbono, las plantas pueden no requerir ningún método especial de disposición. La incineración controlada es el método más común para disponer las plantas que han absorbido grandes cantidades de contaminantes. Este proceso produce cenizas, que se deben desechar en los sitios destinados para tal fin. Para las plantas que han absorbido los metales, la incineración controlada produce las cenizas con altos contenidos de metales (Agúdelo, Macías, & Suárez, 2005, pp. 60).

Tabla 3-1: Ficha técnica e informativa de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

Características	Descripción
Habitat	Hierba anual o bianual, puede ser simple o ramificada.
Piso climático	Templado, húmedo e invernal
Tamaño	De 30 a 130 cm.
Tallo	Cilíndrico, con pelos erectos y ásperos muy delgados
Hojas	<p>Hojas inferiores pecioladas, lobadas, con el lóbulo terminal obtuso, por lo común mucho más grandes que los lóbulos laterales, raras veces con el borde irregularmente sinuoso, de 4 a 20 cm de largo a 1.8 a 8 cm de ancho, con 2-4 lóbulos laterales;</p> <p>Hojas superiores sésiles (sentadas, sin pecíolos), amplexicaulas (abrazando el tallo), con el borde entero, rara vez sinuoso, oblongas a lanceoladas, glaucas, más pequeñas, hasta 6 cm de largo por 1.3 cm de ancho, ápice romo.</p> <p>Las hojas intermedias muestran formas intermedias.</p>
Inflorescencia	Racimo de 10-30 cm de largo. En sección terminal.
Flores	Amarillas, con 4 sépalos verdes de 4-5 mm de largo y 4 pétalos de 6-10 mm de largo, 6 estambres, de los cuales 2 son más cortos
Frutos y semillas	Pedicelos 1-2.5 cm, silícuca extendida, lineal, cilíndrica, dehiscente, 2-6 cm de largo, ápice con un pico de 1-3 cm de largo. Semillas globulares, de 1.5-2 mm en diámetro, café o negras.
Plántulas	Hipocótilo alargado; cotiledones con duplicados de lámina oblonga a cuadrada, de 4 a 8 mm de largo y 4 a 10 de ancho, sin pelos; hojas alternas o aparentemente opuestas
Raíz	Napiforme y delgada
Condiciones de luz	<p>Expuesto.- Pleno sol sin ninguna protección, partes planas o laderas de exposición norte.</p> <p>Algo de sombra.- Algo de protección contra el sol por vegetación poco espesa, rocas, etc., que filtran aprox. 20 - 40 % de la luz.</p> <p>A la sombra.- Laderas pronunciadas de exposición sur, quebradas hondas, o bien protección por capa densa de vegetación, debajo de grandes árboles, con una filtración del 40 - 80%.</p> <p>A la sombra total.- Quebradas hondas que corren hacia el sur con sombra adicional por árboles, o bien con una capa de vegetación superior muy tupida que da sombra de aprox. 80 - 100 % de cobertura</p>
Características especiales	Al estrujarse huele a col

Fuente: Conabio.gob.mx: (Belov, 2009), (Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores., 2001).

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.

2.1 Tipo y diseño de investigación.

2.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación fue de tipo exploratoria porque promovió la aplicación de metodologías flexibles, amplias y dispersas en la recolección de datos y selección de las variables dependientes e independientes; predominando la observación descriptiva, el comportamiento del fenómeno de estudio, e información bibliográfica o de personal científico.

Experimental porque se manipularon variables con el fin de observar y reportar la causa-efecto. Por lo tanto la variable dependiente mantuvo acción directa con las variables independientes; debido a la variabilidad controlada se condicionó el esquema de investigación para describir su avance y comportamiento.

2.1.2 Diseño de investigación.

En esta investigación se incluyó tres etapas que relacionan el tipo de exploración y experimentación:

- 1) adecuación de las unidades experimentales,
- 2) manipulación de variables, y
- 3) comparación de resultados.

2.2 Unidad de análisis

Para la evaluación de la eficiencia de *Brassica rapa* subsp. *oleífera* en la reducción de cadmio y plomo de los lodos residuales de la planta de tratamientos de aguas del cantón Penipe, se constituyeron 3 unidades experimentales de comparación que incluyen:

UE1: Lodos residuales sin ninguna mezcla.

UE2: Lodos residuales y *Brassica rapa* subsp. *oleífera*

UE3: Lodos residuales, suelo fértil y *Brassica rapa* subsp. *oleífera*

2.3 Población de estudio

Para determinar la población de estudio se basó en la problemática de la investigación para reducir los metales pesados plomo y cadmio, siendo así: la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Penipe, los lodos residuales de la planta de tratamiento y la especie vegetal *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

2.4 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra equivalió a la totalidad de los lodos residuales obtenidos de la planta de tratamientos de aguas residuales del cantón Penipe, que fue 120 Kg de un mes. Los cuales se distribuyeron para la unidad experimental 1 (UE1) con 24 Kg de lodo residual a razón que fue considerada como la unidad de comparación, debido a que no se sembró la especie vegetal *Brassica rapa* subsp. *oleífera*, mientras que en la unidad experimental 2 (UE2) y unidad experimental 3 (UE3) la cantidad de lodo residual fue de 48 Kg respectivamente, debido a que en estas unidades (UE2 y UE3) si se sembró la especie vegetativa *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

Para el tamaño de la muestra en la especie vegetal *Brassica rapa* subsp. *oleífera*, se obtuvo 120 gr. de semillas recolectadas en el sector de Bayushig del cantón Penipe.



Gráfico 1-2: Semillas de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.5 Selección de la muestra

Los lodos residuales fueron seleccionados mediante muestreo compuesto en varios puntos de las celdas de disposición de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe. La selección del suelo fértil y las semillas de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera* se obtuvieron en 12 m² de terreno agrícola en el sector de Bayushig del cantón Penipe, con muestreo aleatorio.



Gráfico 2-2: Planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera cantonal del cantón Penipe.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Punto de muestreo del lodo residual en la PTAR del Cantón Penipe



Gráfico 3-2: Muestreo del lodo residual en la planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera cantonal del cantón Penipe.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

Para la recolección de datos se incluyó las siguientes técnicas:

- Observación: para la identificación de puntos de muestreo de los lodos residuales en la planta de tratamiento de aguas de cantón Penipe, selección de las semillas de la especie *Brassica rapa* subsp *oleífera*, medición de la temperatura de los lodos residuales de las respectivas unidades experimentales mediante el uso del termómetro ambiental y la medición del crecimiento de la especie vegetal *Brassica rapa* subsp *oleífera* en las unidades experimentales 2 y 3.
- Análisis de laboratorio: para la recolección de los datos físico - químico de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe en las 3 unidades experimentales durante la etapa inicial, intermedias y final. Y el análisis químico de la especie *Brassica rapa* subsp *oleífera* se realizó al final de la experimentación en las unidades experimentales 2 y 3.
- Uso de sondas higrométricas: permitió valorar y recolectar los datos del porcentaje de humedad y potencial de hidrógeno (pH) para controlar la condición de los lodos residuales en cada unidad experimental.

Imagen del higrómetro	Descripción técnica
	<ul style="list-style-type: none"> - Mide humedad y los valores pH del suelo. - Rango de la humedad: 0 a 100% - Rango del pH: 3,5 a 8 - Diámetro de la sonda bronce: 4,8 mm - Diámetro de la sonda plata: 5.1mm - Distancia entre las sondas: 1.2cm - Medidas: 300x53x37mm - Peso: 80g.

Gráfico 4-2: Descripción técnica del higrómetro en la medición de humedad y potencial de hidrogeno de los lodos residuales en UE1, UE2 y UE3.

Fuente: higrómetro de jardinería

La demostración de los datos recolectados se realizó con el programa Microsoft EXCEL mediante análisis estadístico descriptivo registrando la información de los datos en tablas y en representaciones gráficas respectivas.

2.7 Metodología

2.7.1 Análisis físico – químico de las muestras.

Se obtuvieron los lodos residuales en cantidad de 120 Kg. provenientes de la planta de tratamientos de aguas residuales del cantón Penipe y se trasladaron hacia un espacio designado por el GAD Municipal de Penipe, aproximadamente a unos 100 metros del punto de muestreo.

Previo a la disposición de las muestras en el espacio para el tratamiento, se realizó un proceso primario que consistió en la extracción manual de maleza, piedras y basura.

Para cada unidad experimental (UE1, UE, UE3) se requirieron de al menos 3 análisis de estudio: un análisis físico químico inicial (que fue proporcionado por el GAD Municipal de Penipe y que constituyó el punto de partida para la investigación), análisis físico químicos intermedios que se

realizaron 2 veces (89 y 211 días de iniciado el proceso) y análisis finales al finalizar la investigación (247 días del empezar el proceso).

Tabla 1-2: Análisis físico químico inicial, intermedio y final de las unidades experimentales.

	Análisis Inicial	Análisis Intermedio		Análisis Final
	(0 días)	(89 días)	(211 días)	(247 días)
Unidad Experimental 1	✓	✓	✓	✓
Unidad Experimental 2	✓	✓	✓	✓
Unidad Experimental 3	✓	✓	✓	✓

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

La metodología aplicada para el análisis físico químico del lodo residual y del tejido vegetal, fue proporcionada por laboratorios certificados de la ciudad de Quito (Corporación Laboratorios ambientales de Latinoamérica – CORPLAB) y de la ciudad de Riobamba (Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental - CESTTA)

Tabla 2 -2: Metodología aplicada en la valoración de los parámetros analizados en etapa inicial, intermedia y final.

Muestra	Parámetros	Unidad	Metodología	Laboratorio
Lodo residual	Humedad	%	EPA 160.3	CORPLAB
			AST D4959	CESTTA
	Materia orgánica	%	WALKLEY BLACK, 1934	CORPLAB
			INEN 5754.2005	CESTTA
	pH	UpH	EPA 9045 D	CORPLAB y CESTTA
Plomo	mg/Kg	EPA SW-846 N 3050B		
	Cadmio	mg/Kg	EPA SW-846 N 3050B	
Tejido vegetal	Plomo	mg/Kg	Espectroscopia de absorción atómica	CESTTA
	Cadmio	mg/Kg	Espectroscopia de absorción atómica	

Fuente: CORPLAB y CESTTA

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

En las tres unidades experimentales los parámetros a controlar fueron: la temperatura, el pH, la humedad, altura de la especie vegetal y los metales pesados plomo y cadmio en lodos residual y tejido vegetal.

El parámetro temperatura se midió con un termómetro ambiental de 300°C, la humedad y el pH se midieron con el higrómetro de medición constante cada 3 veces por semana respectivamente. Los parámetros plomo, cadmio y materia orgánica en lodos residuales se realizaron según metodología del laboratorio ambiental durante etapa inicial, intermedia y final.

Para la especie vegetal, el plomo y cadmio se determinó al final del proceso, mientras que la medición de crecimiento del tejido vegetal se realizó con una regla métrica una vez por semana.

Tabla 3-2: Caracterización físico-química de unidades de experimentales con respecto a la línea de análisis.

	Parámetros	Lodo residual						Tejido vegetal		
		T	pH	Humedad	Materia orgánica	Pb	Cd	Altura	Pb	Cd
Unidad experimental 1	Constante	✓	✓	✓						
	Semanal									
	Inicial				✓	✓	✓			
	Intermedia				✓	✓	✓			
	Final				✓	✓	✓			
Unidad experimental 2	Constante	✓	✓	✓						
	Semanal							✓		
	Inicial				✓	✓	✓			
	Intermedia				✓	✓	✓			
	Final				✓	✓	✓		✓	✓
Unidad experimental 3	Constante	✓	✓	✓						
	Semanal							✓		
	Inicial				✓	✓	✓			
	Intermedia				✓	✓	✓			
	Final				✓	✓	✓		✓	✓

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Con los datos obtenidos de los análisis físicos de los parámetros de control realizados por 247 días (9 meses aproximadamente) de haber iniciado el proceso de investigación se elaboró una matriz estructurada así:

	Unidad experimental 1			Unidad experimental 2			Unidad experimental 3		
MES	T. Prom. (°C)	Humedad Prom. (%)	pH Prom. (UpH)	T. Prom. (°C)	Humedad Prom. (%)	pH Prom. (UpH)	T. Prom. (°C)	Humedad Prom. (%)	pH Prom. (UpH)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
Prom.									

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Por cada parámetro de control (temperatura, humedad, pH, materia orgánica) se realizaron gráficas comparadas con el tiempo de tratamiento considerando los límites inferiores y límites superiores por cada uno de ellos.

La materia orgánica sólo fue un parámetro evaluado en la etapa inicial, intermedia y final de las tres unidades experimentales como referencia al valor orgánico del lodo para el desarrollo de la especie vegetal y la presunción de actividad microbiana en la reducción de plomo y cadmio.

2.7.2 Construcción de las unidades experimentales.

2.7.2.1 Material y dimensión de las celdas.

Se utilizó como materiales de construcción tableros en madera de eucalipto por ser resistente a plagas como polilla y evitar la deformación de la estructura de las celdas y fundas plásticas

industriales para cubrir internamente cada celda y evitar la lixiviación del contaminante manteniendo la concentración de humedad estable.

El diseño de las 3 unidades experimentales empezó con el dimensionamiento de la celda 1: con medidas de 1.15 metros de largo por 0.23 metros de ancho, ocupando un área de 0.26 m² con una altura de 0.25 metros. Mientras que en la celda 2 y celda 3 se dispuso un área de 0.53 m² con medidas de 2.3 x 0.23 m. y altura de 0.25 metros respectivamente en cada celda de experimentación.



Gráfico 5-2: *Diseño de celdas de cultivo para las unidades experimentales 1, 2 y 3.*

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.7.2.2 Preparación y distribución del lodo residual.

Luego de obtener la muestra de lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera cantonal del cantón Penipe mediante recolección y muestreo en varios puntos estratégicos, se procedió al traslado del punto de muestreo al espacio designado por Departamento de Gestión de Impacto Ambiental y Salud Pública del GAD Municipal del cantón Penipe, para ser dispuesto sobre un manto plástico para el proceso de remoción de piedras y maleza que puedan interferir en el estudio; posteriormente se dejó expuesto el lodo al aire libre durante 10 días para disminuir los olores contenidos en el lodo residual.

Luego de haber realizado la preparación primaria de los lodos se dividió la muestra en tres partes: una para la celda 1 con 24 kg de lodo, y para las celdas 2 y 3 se distribuyeron 48 kg de lodo respectivamente. Cabe mencionar que en la porción de lodo residual de la celda 3 se le agregó 12 Kg de suelo fértil mediante un proceso de mezcla.



Gráfico 6-2: Preparación del lodo residual en el espacio dispuesto por el GAD del cantón Penipe.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.7.2.3 Germinación y trasplantación de la semilla de *Brassica rapa* subsp *oleífera*.

Se construyó un pequeño vivero con paneles de aluminio, cartón y luz artificial para germinar los 120 gramos de semillas de *Brassica rapa* subsp *oleífera* dispuestas al azar en pequeñas macetas con suelo fértil rico en materia orgánica, aplicando riego tipo regadera por 3 segundos

de 3 - 4 veces por semana durante un mes. Luego al evidenciar la presencia del epicótilo (tallo tierno en la germinación) y las primeras hojas, se procede a la trasplantación de 60 gramos de las semillas germinadas en la celda 2 y celda 3, distribuidas cada 5 centímetros entre ellas a lo largo de las celdas experimentales para su óptimo desarrollo y crecimiento.

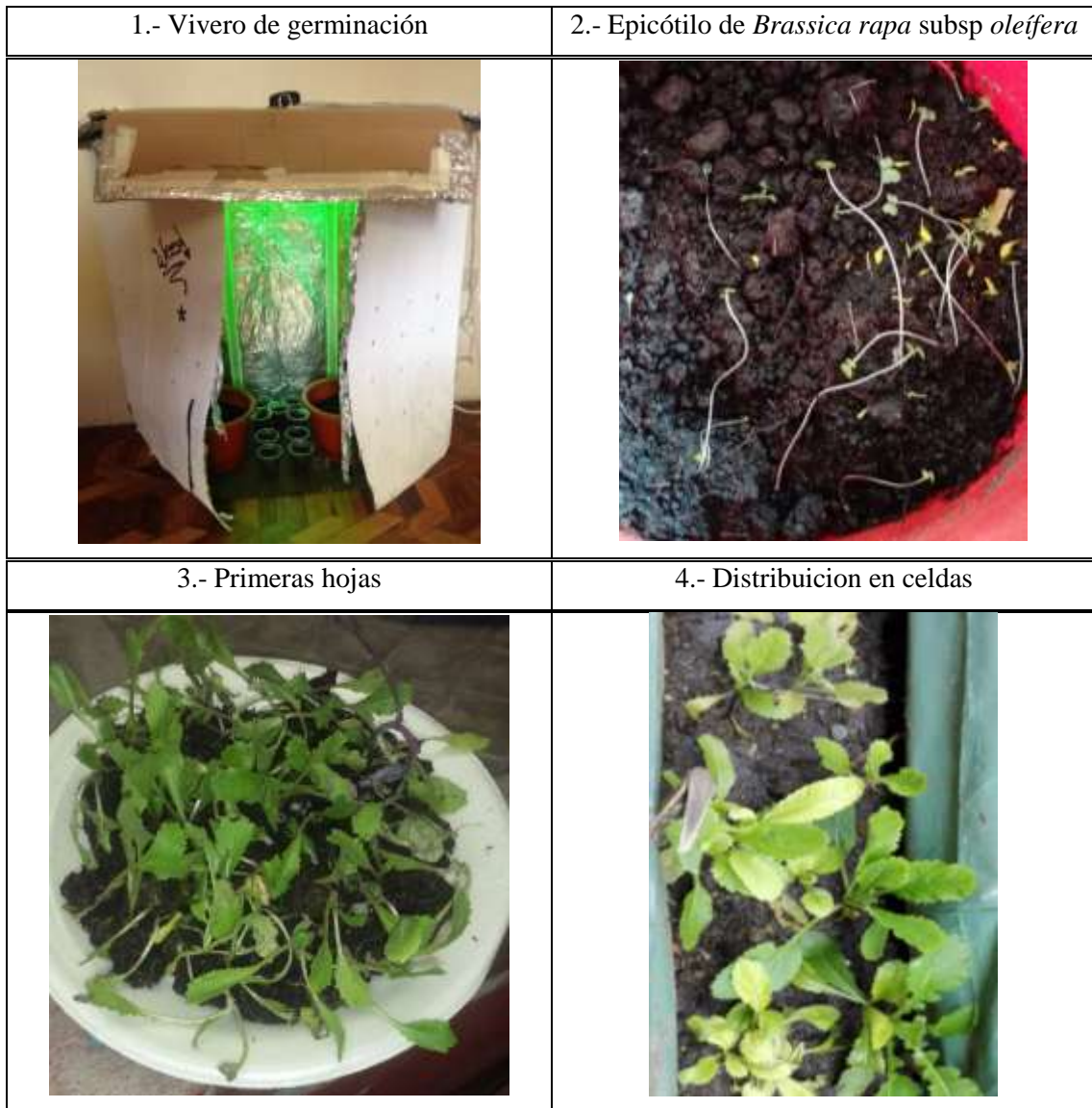


Gráfico 7-2: Germinación y trasplantación de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.7.2.4 Composición de las unidades experimentales

En cada celda experimental se agregó la muestra de lodo residual en diferentes porciones, en una de ellas se incorporó suelo fértil proporcional al lodo residual de la celda, la dispersión y trasplantación de las semillas germinadas de *Brassica rapa* subsp *oleífera* se colocaron en dos

celdas experimentales (2 y 3), manteniendo el riego de agua moderadamente por lo menos 3 veces a la semana durante el tiempo de experimentación.

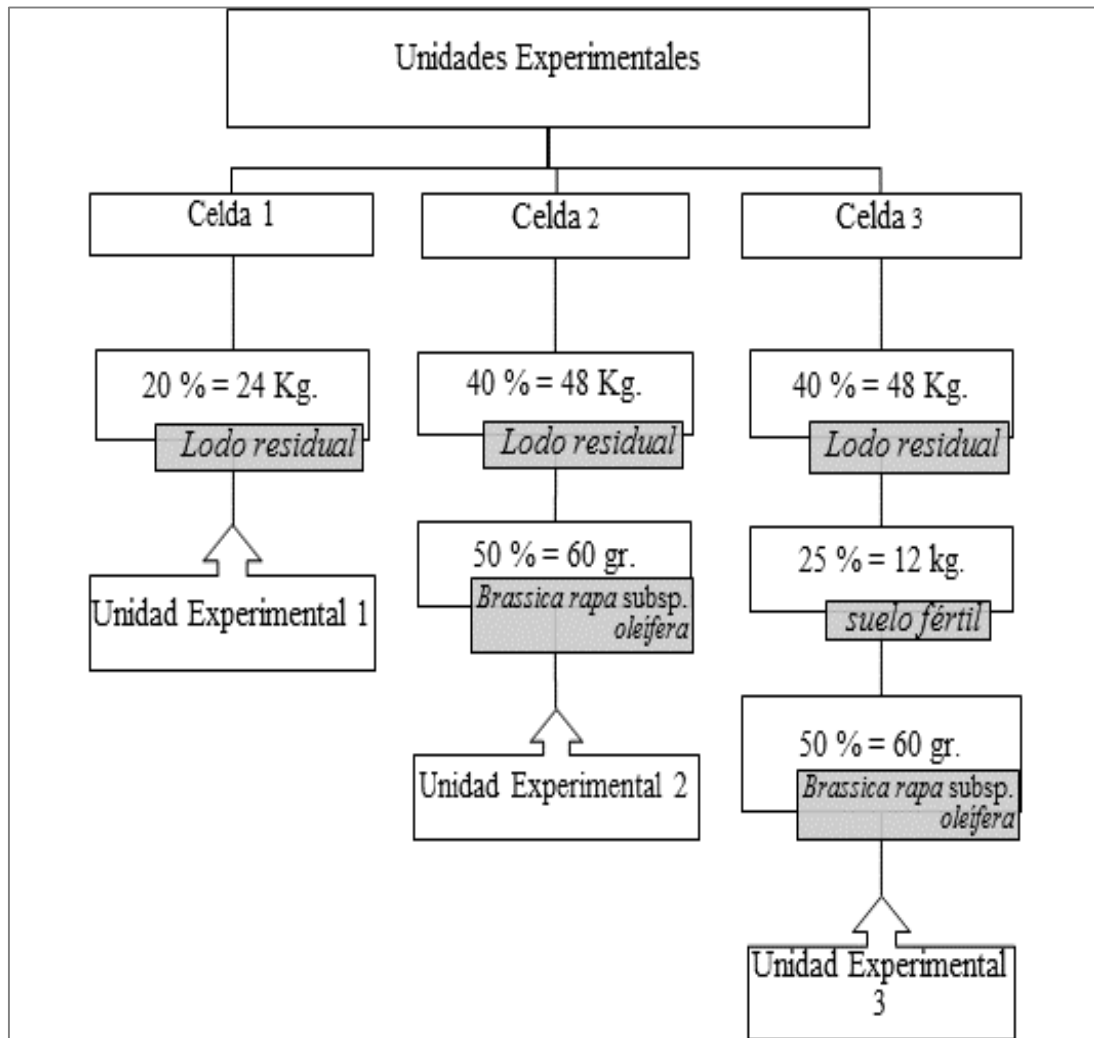


Gráfico 8-2: Esquema de la composición de las 3 unidades experimentales.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.7.3 Interpretación descriptiva de evolución de la reducción de plomo y cadmio en las unidades de análisis.

2.7.3.1 Concentraciones de plomo y cadmio en las unidades de análisis.

A través de la metodología EPA 3050B, Rev. 02, 1996. Standard Methods 3111B de los laboratorios CORPLAB (análisis inicial) y CESTTA (análisis intermedio y final) se dispusieron los resultados de cada unidad de análisis en la matriz siguiente:

	Parámetros analizados	Metodología de referencia	Unidad	Valor	Límite máximo permisible	Normalizado
UE1	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg			
	Plomo					
UE2	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg			
	Plomo					
UE3	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg			
	Plomo					

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.7.3.2 Evaluación de la reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales de las 3 unidades experimentales.

Con los datos obtenidos se fue comparando cada unidad de análisis en los diferentes tiempos (inicial, intermedios (2) y final) incluyendo pérdidas de los contaminantes por lixiviación en las 3 unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3); y por absorción en el tejido vegetal en las UE2 y UE3.

Para una mejor comprensión de la evolución de los resultados de investigación se consideró esquematizar las unidades experimentales en relación con el tiempo (0 días, 89 días, 211 días y 247 días) y compararlos con la concentración de plomo y cadmio de cada unidad experimental (UE1, UE2 y UE3).

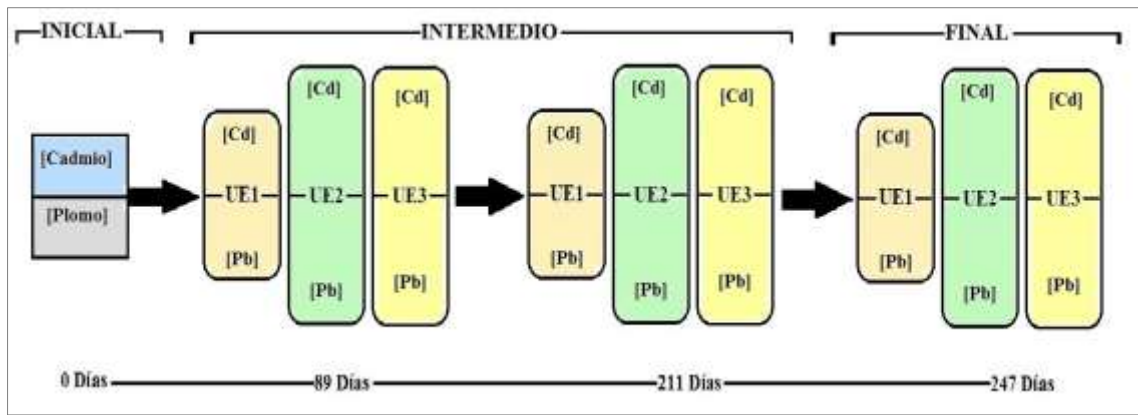


Gráfico 9-2: Esquematización de la concentración de plomo y cadmio en las unidades experimentales con relación al tiempo de análisis de la experimentación.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.7.3.3 Absorción de cadmio y plomo por la especie vegetal *Brassica rapa subsp. oleífera*.

Para determinar la absorción de cadmio y plomo en el tejido vegetal de la especie *Brassica rapa subsp. Oleífera*, se analizó 200 gramos de cada unidad experimental (UE2 y UE3) por espectrofotometría de absorción atómica en unidades de mg/Kg. Con los resultados, se realizó un cálculo para conocer el porcentaje de retención de plomo y cadmio en cada unidad de análisis por parte de la especie vegetal, presentados en la tabla siguiente:

	Unidad Experimental 2	Unidad Experimental 3
Cálculo	$[Cd/Pb]_{\text{lodo}} \rightarrow 100 \%$	$[Cd/Pb]_{\text{lodo}} \rightarrow 100 \%$
	$[Cd/Pb]_{\text{tejido vegetal}} \rightarrow X = \%$	$[Cd/Pb]_{\text{tejido vegetal}} \rightarrow X = \%$

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

2.7.3.4 Balance de masas al finalizar el proceso en las UE2 y UE3

El balance de masa identificó la relación proporcional en concentración y porcentaje de la trayectoria del contaminante plomo y cadmio en el lodo residual al transcurrir los 247 días de experimentación en las unidades experimentales (UE2 y UE3) esquematizándose así:

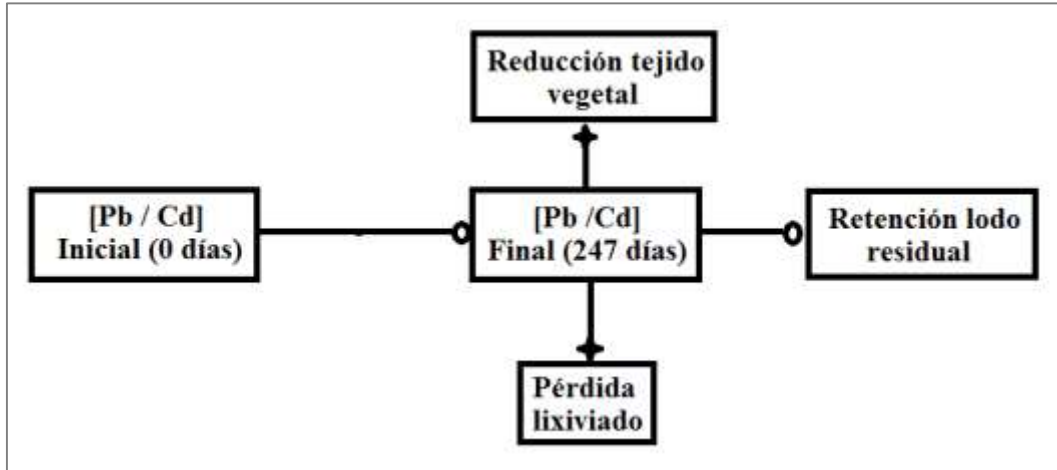


Gráfico 10-2: Esquema del balance de masa de los contaminantes plomo y cadmio en el proceso de reducción y absorción

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Dando como resultado la movilidad del contaminante plomo y cadmio en unidades de mg/Kg y porcentaje (%) de distribución de los metales pesados en lixiviados generados, absorbancia por el tejido vegetal y retención en el lodo residual en las UE2 y UE3.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Análisis Físico – Químico de las muestras

Los parámetros de control analizados para las muestras de lodo residual en las 3 unidades experimentales fueron: temperatura, humedad y pH; en un tiempo aproximado de 9 meses, siendo 247 días desde el 15 de agosto de 2016 hasta el 18 de abril de 2017 (Ver datos diarios Anexo 1).

Tabla 1-3: Parámetros de control promedios / mes de los lodos residuales en tres unidades experimentales.

MES	Unidad experimental 1			Unidad experimental 2			Unidad experimental 3		
	T. Prom. (°C)	Humedad Prom. (%)	pH Prom. (UpH)	T. Prom. (°C)	Humedad Prom. (%)	pH Prom. (UpH)	T. Prom. (°C)	Humedad Prom. (%)	pH Prom. (UpH)
1	16,63	29,31	6,40	17,50	30,42	5,39	18,00	27,09	5,39
2	15,54	39,23	6,62	17,54	39,23	5,69	17,69	39,62	6,19
3	15,62	41,15	6,15	17,31	38,08	6,42	16,92	36,15	5,77
4	15,67	39,06	6,77	17,67	36,33	6,14	17,17	36,52	6,14
5	16,33	40,83	6,92	17,58	36,67	6,42	17,83	32,08	5,75
6	14,82	39,55	7,00	17,64	36,82	5,59	17,18	36,82	6,41
7	14,55	37,27	7,55	17,00	41,36	5,77	17,09	37,27	6,68
8	15,57	39,03	7,74	16,93	35,04	6,53	17,14	33,04	6,45
9	14,50	35,03	7,56	17,25	36,26	6,82	18,00	32,65	6,58
Prom	15,47	37,83	6,97	17,38	36,69	6,09	17,45	34,58	6,15

Fuente: informes de laboratorio.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

3.1.1 Temperatura

Para discutir los valores obtenidos de temperatura por cada unidad experimental (UE2 y UE3) se consideraron los rangos para la germinación de las semillas de las especies vegetativas expresadas por Donelan, P., 2009, donde menciona que la germinación de las semillas en casi todas las especies vegetativas en suelos se desarrollan en temperaturas entre 16°C y 21°C.

Debido a que el dimensionamiento de las celdas de cultivo eran mayores para las unidades experimentales (UE2 y UE3), los análisis de temperatura promedio se mantuvieron dentro del rango por la presencia del tejido vegetal germinado, mientras que en la UE1 la temperatura se mantuvo dentro y bajo del límite mínimo de temperatura por tener una medida de construcción menor de la celda; es decir, a menor volumen sobre un área menor, la temperatura tiende a descender y en mayor volumen con mayor área, la temperatura logró mantener su control óptimo de germinación y desarrollo para la especie *Brassica rapa* subsp. *Oleífera*

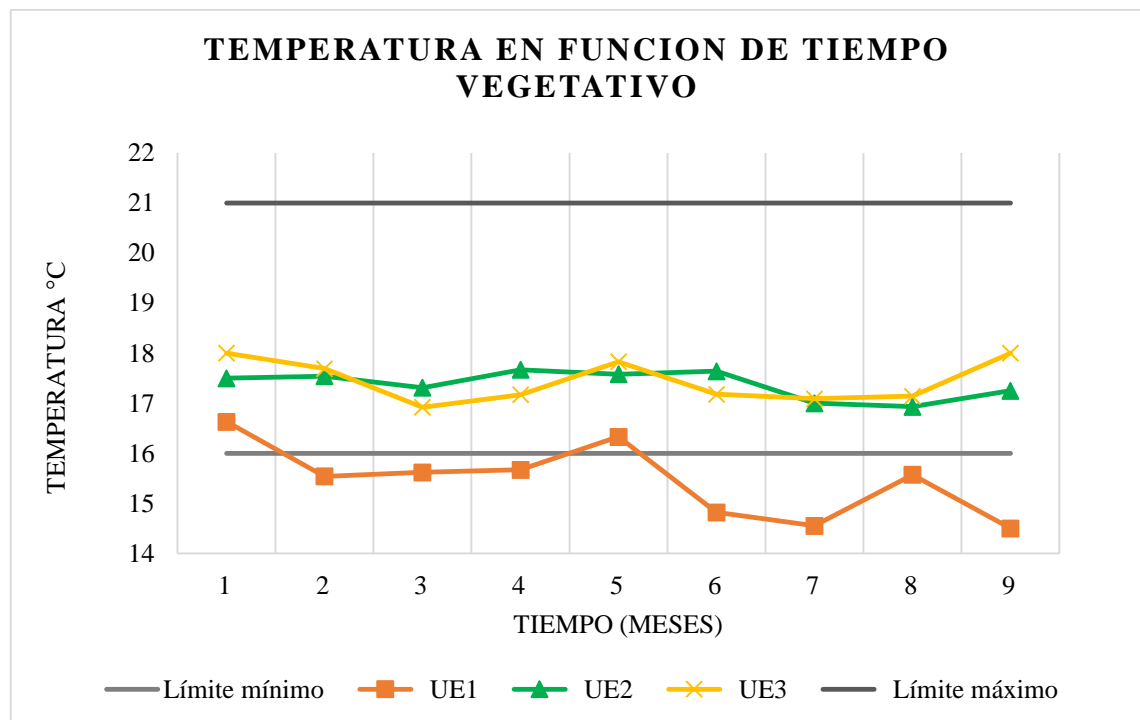


Gráfico 1-3: Temperaturas promedio de los lodos residuales en 3 unidades experimentales en función del tiempo de crecimiento vegetativo.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Las líneas horizontales de la gráfica 1-3, representan el límite máximo (21 °C) y límite mínimo (16 °C), y la fluctuación de las líneas curvas es como varió la temperatura promedio de las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3) en relación al tiempo (9 meses).

La temperatura promedio total de las unidades experimentales 2 y 3 se mantuvo oscilando entre 17,38°C (UE2) y 17,45°C (UE3) debido a la presencia de la especie vegetal y la interferencia de materia orgánica (UE3), mientras que en la unidad experimental 1; la temperatura fue menor 15.47°C; por ser la muestra blanco de investigación la cual no contenía materia orgánica ni tejido vegetal en desarrollo.

3.1.2 Humedad.

La humedad es un parámetro importante para la aireación y enriquecimiento del suelo en un proceso de reducción de contaminantes como cadmio y plomo, por lo tanto se determinó el porcentaje de humedad mediante un higrómetro de sondas, cuyos rangos comprendieron desde 0-35% suelo seco, 35% - 75% humedad óptima y 75% - 100% humedad excesiva.

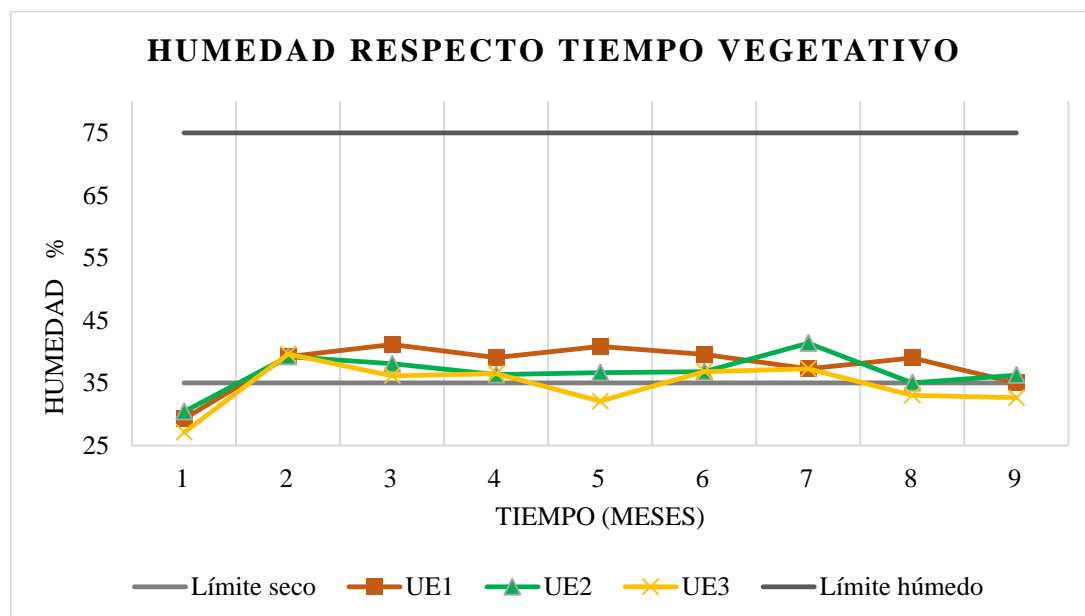


Gráfico 2-3: Humedad promedio de los lodos residuales en 3 unidades experimentales respecto al tiempo de crecimiento vegetativo.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

En el grafico 2-3, las unidades experimentales pasaron del rango de suelo seco a un rango mínimo de calidad óptima de humedad desde el segundo mes de análisis, en donde la UE1 obtuvo una media del 37.83% , la UE2 una media del 36.69% y en la UE3 se promedió una media del 34.58%, esto debido a que en demasiada humedad la planta no podía germinar, lo que conllevó a que se controlara la humedad excesiva y que se impida la saturación del ingreso de aire en el suelo para de esta forma facilitar el movimiento de los metales pesados en el lodo residual y su absorción a través de *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

Se trabajaron dos rangos: el límite seco (35%) y el límite húmedo (75%), determinados por el higrómetro de sondas. Los porcentajes de humedad variaron debido a la retención de agua que presentó cada unidad experimental (UE1, UE2 y UE3) y en la composición - formación de cada celda, por lo tanto para UE1 la humedad presentó mayor retención al ser una celda con un área menor (0.26m²) y por haber contenido solo el lodo residual, mientras que en las UE2 y UE3 a pesar de haber tenido un área igual (0.53m²), una misma cantidad de lodo residual y modalidad de siembra, existió menor retención de humedad en la UE3 a causa de la materia orgánica contenida y, por ende se presumió actividad de microbiana y una mayor absorción de líquidos por parte del tejido vegetal.

3.1.3 Potencial de Hidrógeno.

La medición del potencial de hidrógeno (pH) determinó el grado de absorción de iones de los metales pesados plomo y cadmio por las partículas del suelo, afectando de tal manera la movilidad, solubilidad, disponibilidad y formas atómicas del contaminante.

En niveles de leve acidez el movimiento de los contaminantes cadmio y plomo se vuelve más accesible a la absorción por *Brassica rapa* subsp. *oleífera*, manteniendo un pH levemente neutral para el desarrollo vegetativo, como lo expresó Alexander M., 1999.

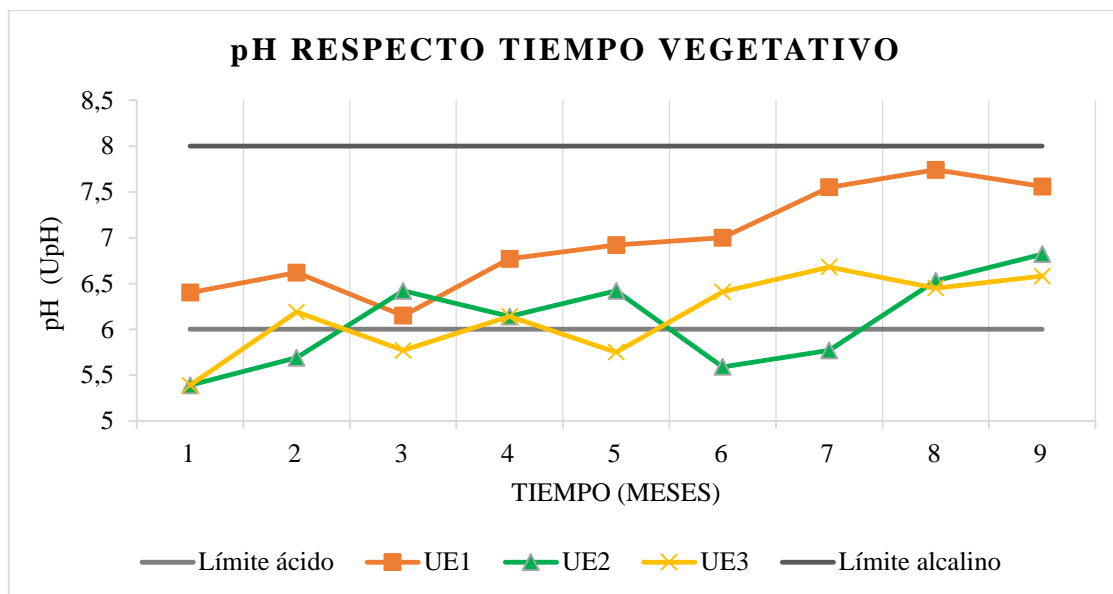


Gráfico 3-3: Potencial de hidrógeno promedio de los lodos residuales en 3 unidades experimentales respecto al tiempo de crecimiento vegetativo.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Durante el proceso de control de pH se determinó el límite ácido (pH 6) y el límite alcalino (pH 8) en aproximadamente 9 meses (8 meses y 23 días). En las unidades experimentales donde se sembró la especie vegetativa (UE2 y UE3), se mantuvo una neutralidad leve con un promedio de 6.09 UpH (unidades de pH) en la UE2 y 6.15 UpH en la UE3 por contener materia orgánica y generar actividad microbiana; mientras que en la unidad experimental uno (UE1), se promedió con un 6.97 UpH manteniéndose aproximado a siete al solo contener el lodo residual con los metales pesados (Cd y Pb).

Esta variabilidad de pH se debe a la movilidad del contaminante, es decir, al disminuir el pH del suelo, aumenta la asimilación de cadmio y plomo en *Brassica rapa* subsp *oleífera*.

3.1.4 *Materia orgánica.*

Según Eweis et al., 1998, se sabe que los lodos residuales poseen una característica de presentar materia orgánica entre 3% y 6% del volumen promedio por las descargas de las aguas residuales domésticas, mientras que los microorganismos constituyen menos del 1%. Por lo tanto en el

gráfico 4-3 presenta el porcentaje de materia orgánica en las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3) en relación al tiempo de muestreo y análisis en el laboratorio (0 días, 89 días, 211 días y 247 días).

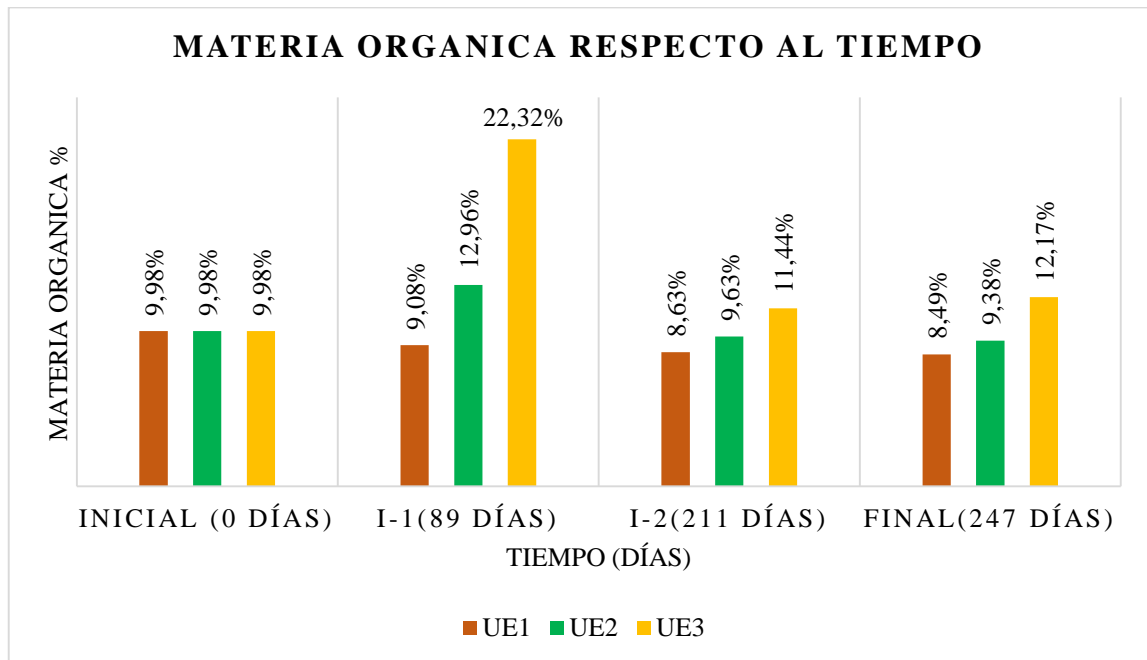


Gráfico 4-3: Porcentaje de materia orgánica presente en los lodos residuales en 3 unidades experimentales respecto al tiempo investigativo inicial, intermedio y final.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Al aumentar la concentración porcentual de materia orgánica en los lodos residuales, aumentó la retención del contaminante plomo y cadmio formando complejos químicos con las partículas del suelo, debido a que la estructura molecular de la materia orgánica se volvió más sencilla e impidió la movilización de los metales pesados hacia el tejido vegetal. Facilitando así la absorción de nutrientes de la materia orgánica hacia la planta y una mayor concentración del lixiviado de los metales pesados en la UE3; mientras que en la UE2, hubo movilidad de cadmio y plomo hacia la *Brassica rapa* subsp. *oleifera*.

3.2 Interpretación descriptiva de evolución de la reducción de plomo y cadmio en las unidades de análisis.

3.2.1 Concentraciones de plomo y cadmio en las unidades de análisis.

3.2.1.1 Concentraciones iniciales

El dato proporcionado por laboratorios CORPLAB de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe fue, el indicador inicial que permitió la construcción de las 3 unidades experimentales con iguales concentraciones de plomo y cadmio.

Tabla 2-3: Concentración inicial de plomo y cadmio en lodos residuales.

Parámetros analizados	Metodología de referencia	Unidad	Valor	Límite máximo permisible	Criterio de resultados
Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996. Standard Methods 3111B	mg/Kg	1,15	0.5	No cumple
Plomo			21,8	19	No cumple

Fuente: CORPLAB, 2015

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

- El valor del límite máximo permisible se rige bajo el Acuerdo Ministerial No. 028, TULSMA, Libro VI, anexo 2: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Tabla 1: Criterios de Calidad de Suelo.

La incidencia del aumento en los niveles de plomo y cadmio en los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas de la cabecera cantonal de Penipe, se dedujeron por la actividad antropogénica del lavado de autos y gasolineras presentes, esta información fue otorgada por habitantes y personal del GAD del cantón Penipe, mediante entrevistas personales.

3.2.1.2 Concentraciones intermedias

El análisis de metales cadmio y plomo intermedios se realizaron luego de 89 y 211 días de empezar el estudio en las 3 unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3).

Tabla 3-3: Concentración intermedia y final de plomo y cadmio en lodos residuales de cada unidad experimental en el tiempo inicial y final.

	Parámetros analizados	Metodología de referencia	Unidad	Valor		Límite máximo permisible	Normalizado	
				I-1	I-2		I-1	I-2
UE1	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg	1,13	1,06	0,5	No	No
	Plomo			21,26	20,98		19	No
UE2	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg	0,7	0,6	0,5	No	No
	Plomo			20	19		19	No
UE3	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg	0,7	0,6	0,5	No	No
	Plomo			20	19		19	No

Fuente: CESTTA, 2017

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Las evaluaciones intermedias de plomo y cadmio en los lodos residuales de cada unidad experimental (UE1, UE2 y UE3), se realizaron en dos tiempos: a los 89 días (I-1) de haber iniciado el proceso se reportó valores que no cumplían con la normativa legal (TULSMA, Libro VI, anexo 2, Tabla 1.), mientras que después de 211 días (I-2), el parámetro plomo de la UE2 y UE3 se reportó dentro de los límites permisibles (19 mg/Kg) debido a que fue más soluble en agua generando producto de lixiviado. Por lo tanto, el parámetro cadmio aún se encontró fuera del límite permisible para suelos en las tres unidades experimentales.

3.2.1.3 Concentraciones finales

El análisis de metales cadmio y plomo final se realizó luego de 247 días de empezar el estudio en las 3 unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3).

Tabla 4-3: Concentración final de plomo y cadmio en los lodos residuales de cada unidad experimental.

	Parámetros analizados	Metodología de referencia	Unidad	Valor	Límite máximo permisible	Normalizado
UE1	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg	1,03	0,5	No
	Plomo			20,92	19	No
UE2	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg	0,5	0,5	Si
	Plomo			18	19	Si
UE3	Cadmio	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996.	mg/Kg	0,5	0,5	Si
	Plomo			18	19	Si

Fuente: CESTTA, 2017

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

La evaluación final de los parámetros cadmio y plomo dieron como resultado que: en la unidad experimental 1 (UE1) no reportó valores permisibles para la calidad del criterio suelo, pero si existió disminución de la concentración de los contaminantes en forma de lixiviado; mientras que en las unidades experimentales UE2 y UE3, si se registró el cumplimiento de los parámetros cadmio y plomo, debido a que los contaminantes fueron movilizados hacia el tejido vegetal y lixiviado.

3.2.2 Reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales.

Para el análisis de la reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales de la planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR) del cantón Penipe en las 3 unidades experimentales, se procedió a formar gráficas del análisis descriptivo en relación al tiempo (0 días, 89 días, 211 días y 247 días) de evolución experimental.

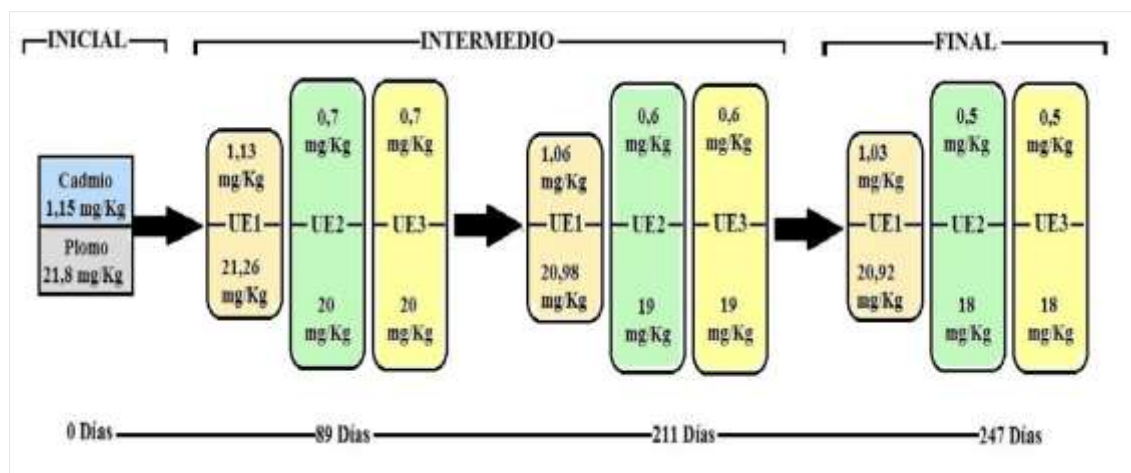


Gráfico 5-3: Esquematación de la concentración de plomo y cadmio en las unidades experimentales con relación al tiempo de análisis de la experimentación.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Tabla 5-3: Criterio de evaluación en la reducción de cadmio y plomo en las tres unidades experimentales durante el tiempo de análisis.

Unidad Experimental	Parámetro	Unidad	Valor Inicial	Valor Intermedios		Valor final	Criterio de evaluación
			0 días	89 días	211 días	247 días	
UE1	Cadmio	mg/Kg	1,15	1,13	1,06	1,03	No cumple
	Plomo		21,80	21,26	20,98	20,92	No cumple
UE2	Cadmio	mg/Kg	1,15	0,70	0,60	0,50	Si cumple
	Plomo		21,80	20	19	0,18	Si cumple
UE3	Cadmio	mg/Kg	1,15	0,70	0,06	0,50	Si cumple
	Plomo		21,80	20	19	0,18	Si cumple

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

En el análisis de laboratorio por espectroscopia de absorción atómica para determinar la concentración de cadmio y plomo en el lodo residual dispuesto en las tres unidades experimentales. Se identificó que al final del proceso (duración 247 días de estudio), las concentraciones de plomo y cadmio en las UE2 y UE3 llegaron a estar dentro de los límites permisibles; mientras que la muestra blanco de estudio (UE1), se mantuvo fuera de la norma aplicable para suelos remediados, esto debido a que los metales pesados fueron conducidos y movilizados a través del agua en forma de lixiviado y a su vez por la presencia de actividad microbiana (mucho menos del 1%).

3.2.2.1 Reducción de cadmio en los lodos residuales

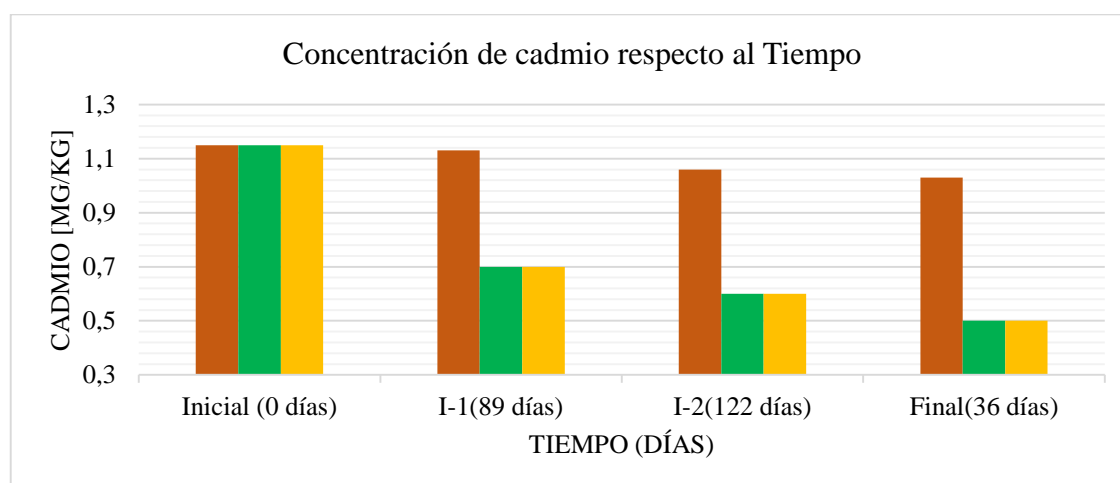


Gráfico 6-3: Reducción de Cadmio en los lodos residuales de la PTAR del cantón Penipe.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

En la gráfica 6-3 se identificó la trayectoria de reducción de cadmio en el lodo residual desde su valor inicial (0 días) hasta los 247 días de estudio, tomando en cuenta la línea horizontal que representa el límite máximo permisible para suelo (0.5 mg/Kg).

Se obtuvieron valores dentro de la normativa permisible en las UE2 y UE3 por actividad de absorción del contaminante en el tejido vegetal y a su vez por un residuo liberado en forma de lixiviado, mientras que en la UE1 no se logró reducir el cadmio para que cumpla con la normativa legal, pero existió pérdida del contaminante por lixiviación.

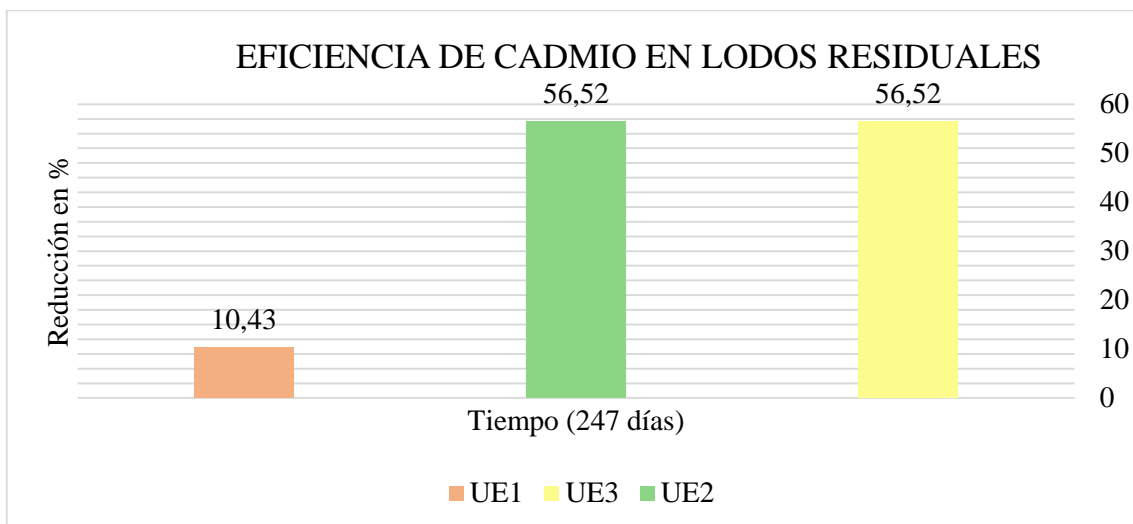


Gráfico 7-3: Porcentaje de eficiencia de reducción de cadmio en el lodo residual de las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3) en 247 días.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

El gráfico 7-3 indicó el porcentaje en la reducción de cadmio presente en el lodo residual al finalizar los 247 días de tratamiento, deduciendo que la concentración de cadmio fue movilizado hacia el tejido vegetal (UE2 y UE3) y producto de lixiviación (UE1, UE2 y UE3).

3.2.2.2 Reducción de plomo en los lodos residuales.

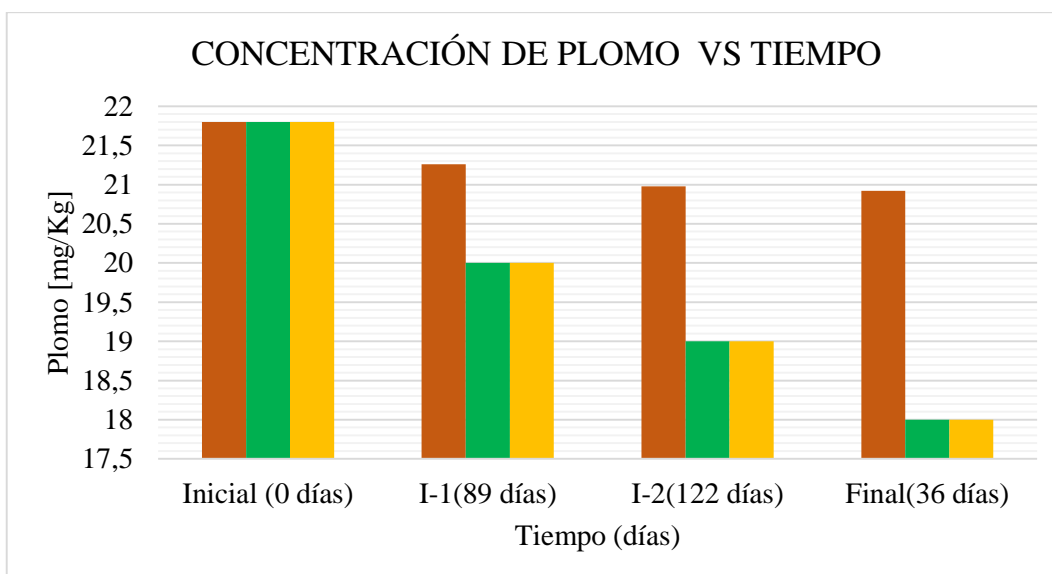


Gráfico 8-3: Reducción de Plomo en los lodos residuales de la PTAR del cantón Penipe

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

En la gráfica 8-3 se demostró la trayectoria de reducción de la concentración de plomo en los lodos residuales de cada unidad de experimentación (UE1, UE2 y UE3) desde su valor inicial (0 días) hasta culminar el proceso en 247 días y se relacionaron los datos con el límite permisible (19 mg/Kg) de la normativa legal para suelos remediados escrito en el TULSMA, Libro VI, anexo 2. Tabla 1.

Se obtuvieron valores bajo la normativa permisible en las UE2 y UE3, esto a causa probable de retención en el tejido vegetal y a su vez en forma de residuo liberado como lixiviado. En la UE1 no se logró reducir el plomo para que cumpla con la normativa legal, pero existió pérdida del contaminante por lixiviación.

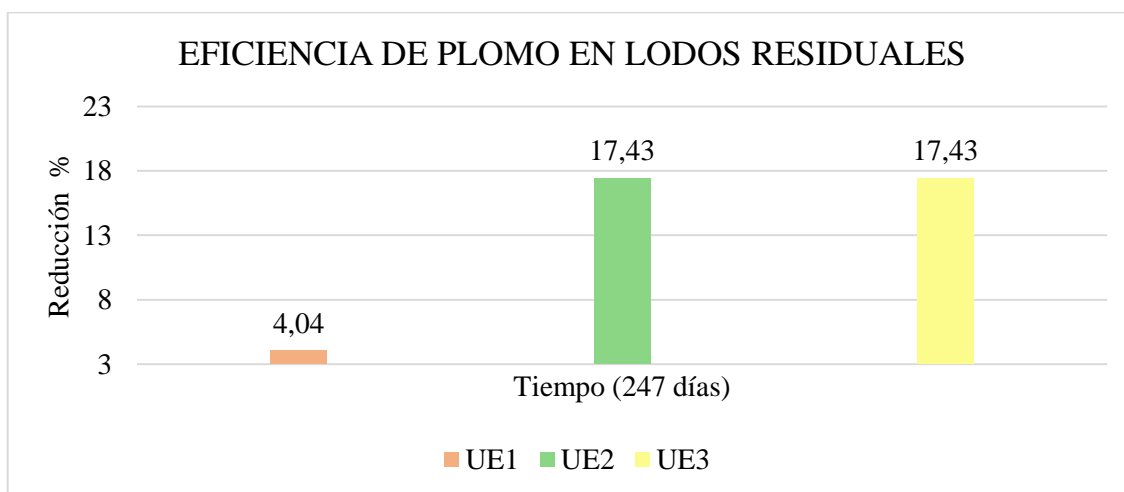


Gráfico 9-3: Crecimiento longitudinal de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleifera* en 247 días de evaluación.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

El gráfico 9-3 indicó el porcentaje en la reducción de plomo presente en el lodo residual al finalizar la experimentación (247 días) en las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3), donde se deduce que la concentración de cadmio fue movilizado hacia el tejido vegetal (UE2 y UE3) y a su vez fue producto de lixiviación (UE1, UE2 y UE3).

En comparación con las gráficas de rendimiento de eficiencia de reducción en porcentajes (gráfico 7-3 y gráfico 9-3) se logró determinar que existió mayor reducción del contaminante cadmio en los lodos residuales, esto se debe a la biodisponibilidad y movilidad que tuvo el

metal pesado (Cd) hacia el tejido vegetal de la especie *Brassica rapa* subsp *oleifera* y de la formación de lixiviado.

3.2.3 Absorción de cadmio y plomo por la especie vegetal *Brassica rapa* subsp. *oleifera*.

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2001), la medición de las plantas son necesarias para observar de manera objetiva, detallada, descriptiva y numérica el desarrollo de un cultivo en particular para identificar la apreciación de la especie vegetal en el medio, según las condiciones del suelo, enfermedades, agua de riego, nutrientes y un mal desarrollo en el crecimiento.

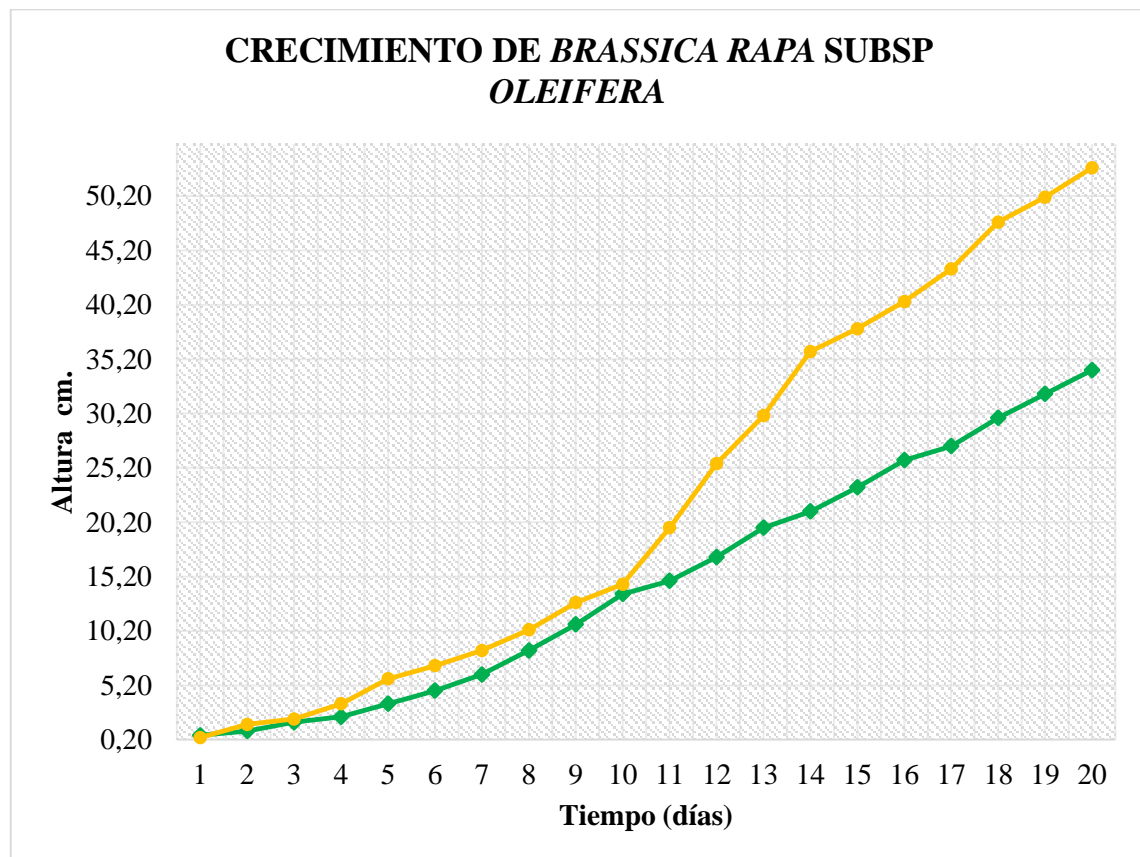


Gráfico 10-3: Crecimiento longitudinal de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleifera* en 247 días de evaluación.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

En esta evaluación se logró observar bajo medición métrica el desarrollo de la *Brassica rapa* subsp. *oleifera* sometida a dos unidades experimentales (UE2 y UE3), una con lodo contaminado (UE2) y otra con lodo contaminado mezclado con suelo fértil (UE3), teniendo como resultado que el mejor desarrollo en crecimiento de ésta ocurrió en la unidad experimental 3 debido a que logró captar del suelo mayor cantidad de nutrientes, manteniendo un pH aproximado de 7, mientras que en UE2 su desarrollo fue inferior (aproximadamente 20 cm de diferencia), lo que indica la absorción de los metales pesados cadmio y plomo al bio-acumularse en los tejidos vegetales de nuestra especie evaluada.

El análisis de la acumulación de cadmio y plomo en la especie *Brassica rapa* subsp *oleifera* se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica después de 247 días, finalizado el tratamiento.

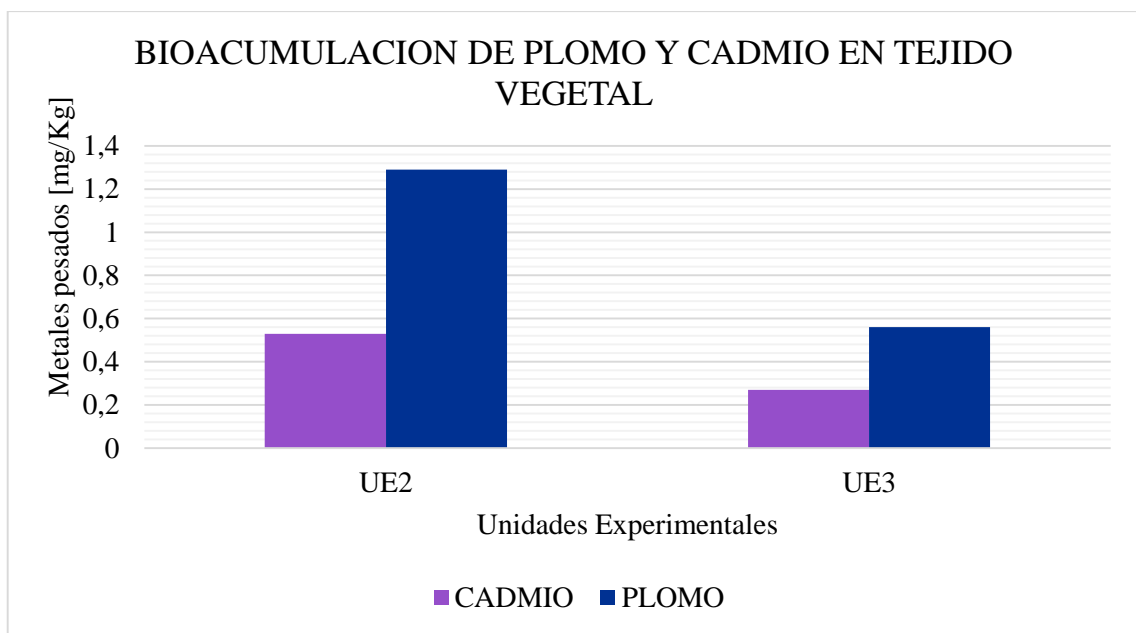


Gráfico 11-3: Concentración de plomo y cadmio de *Brassica rapa* subsp *oleifera* en las unidades experimentales (UE2 y UE3) al finalizar los 247 días de experimentación.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

3.2.3.1 Absorción de cadmio en *Brassica rapa* subsp. *Oleífera*.

Tabla 6-3: Cálculo porcentual de la concentración de cadmio en la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera* en 2 unidades experimentales (UE2 y UE3).

	Unidad Experimental 2	Unidad Experimental 3
Cálculo	1,15 mg/Kg → 100 %	1,15 mg/Kg → 100 %
	0,53 mg/Kg → X = 46,09 %	0,27 mg/Kg → X = 23,48 %

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Para el análisis se procedió a identificar la concentración inicial del lodo residual (1,15 mg/Kg) equivalente al 100% Cd, con respecto a la absorbancia de 0,53 mg/kg Cd por el tejido vegetal que equivale al 46,09% Cd acumulado en la especie *Brassica rapa* subsp *oleífera*, evaluados en la unidad experimental 2 al finalizar los 274 días de evaluación.

En la unidad experimental 3, se usó el mismo cálculo de la UE2 (tabla 6-3) cambiando la concentración de cadmio retenido en el tejido vegetal a 0,27 mg/Kg que equivalen al 23,48% Cd por la misma trayectoria de tiempo (247 días); lo que permitió deducir que la mayor concentración de cadmio en el tejido vegetal de *Brassica rapa* subsp. *oleífera*, se obtuvo de la unidad experimental 2 con 46,09% del 100 % (1,15 mg/Kg) de cadmio contenido en el lodo residual.

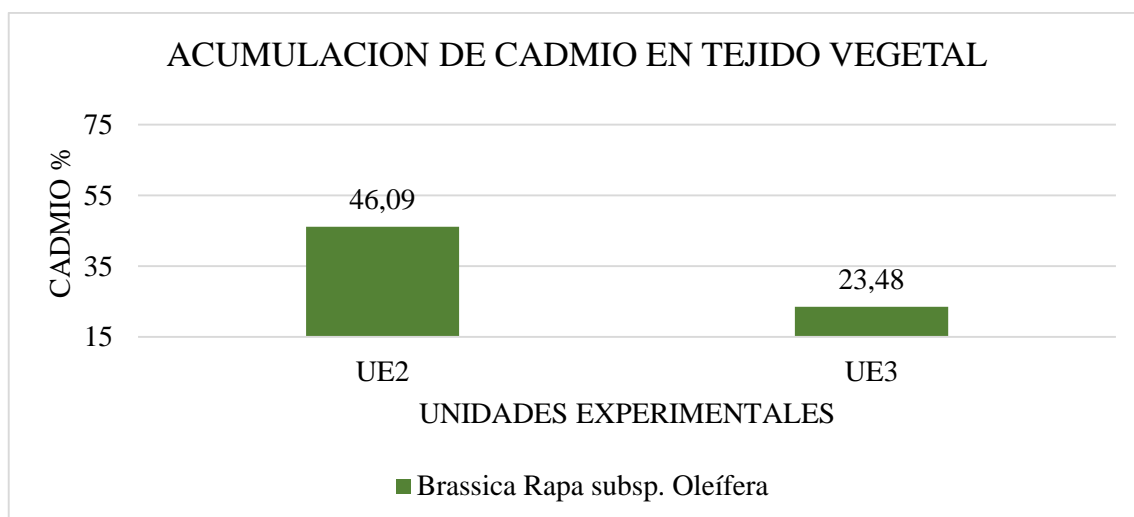


Gráfico 12-3: Análisis comparativo (%) de la acumulación de cadmio en la especie *Brassica rapa* subsp *oleífera* en la UE2 y UE3.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

3.2.3.2 Absorción de plomo en *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

Tabla 7-3: Cálculo porcentual de la concentración de plomo en la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera* en 2 unidades experimentales (UE2 y UE3).

	Unidad experimental 2	Unidad experimental 3
Cálculo	21,80 mg/Kg → 100 %	21,80 mg/Kg → 100 %
	1,29 mg/Kg → X = 5,92 %	0,56 mg/Kg → X = 2,57 %

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Para el cálculo porcentual de la unidad experimental 2 escrito en la tabla 7-3, se procedió a identificar la concentración inicial de plomo del lodo residual (21,80 mg/Kg) que equivalen al 100%, con respecto a la absorbancia en la especie vegetal de 1,29 mg/kg Pb, que equivalió al 5,92 % de plomo acumulado en el tejido vegetal de *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.

En la unidad experimental 3, se realizó el mismo cálculo de la UE2 (tabla 7-3) reemplazando la concentración de plomo en la especie vegetal con 0,56 mg/Kg por la misma trayectoria de tiempo (8 meses y 23 días); lo que permitió deducir que la mayor concentración de plomo en el tejido vegetal de *Brassica rapa* subsp. *oleífera*, se obtuvo de la unidad experimental 2 con 5,92% de plomo contenido en el lodo residual.

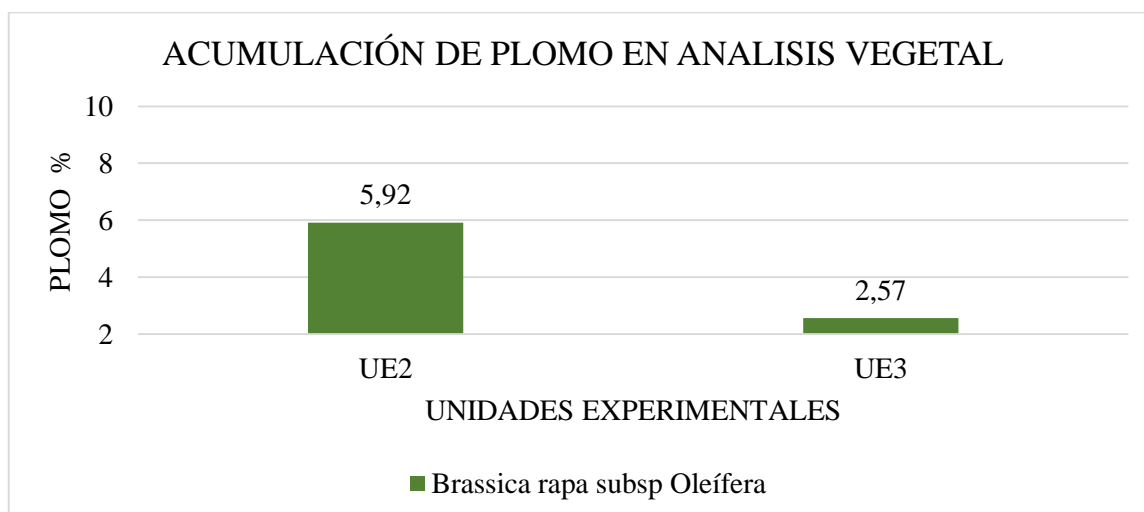


Gráfico 13-3: Análisis comparativo (%) de la acumulación de plomo en la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera* en la UE2 y UE3.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

3.2.4 Balance de masas de cadmio y plomo al finalizar el proceso

El balance de masa identificó la relación proporcional en concentración y porcentaje de la trayectoria del contaminante plomo y cadmio en el lodo residual al transcurrir los 247 días de tratamiento en las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3) desde las concentraciones iniciales, intermedias y finales del contaminante (Pb y Cd), además de la concentración retenida por el tejido vegetal y la concentración liberada en el lixiviado.

3.2.4.1 Balance de masa de cadmio en las unidades experimentales

Tabla 8-3: Pérdidas de la concentración de cadmio en mg/Kg y porcentaje en las tres unidades experimentales al culminar el proceso.

	UE1 (BLANCO)	UE2	UE3
Concentración inicial	1.15 mg/kg (100%)	1.15 mg/kg (100%)	1.15 mg/kg (100%)
Concentración final	1.03 mg/kg (89,57%)	0.5 mg/kg (43,48%)	0.5 mg/kg (43,48%)
Pérdidas de Cd ($C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}$)	0,12 mg/kg (10,43%)	0,65 mg/kg (56,52%)	0,65 mg/kg (56,52%)
[Cadmio] tejido vegetal	-	0,53 mg/kg (46,09%)	0,27 mg/kg (23,48%)
Pérdida de Cd – [Cadmio] tejido vegetal	0,12 mg/kg (10,43%)	0,12 mg/kg (10,43%)	0,38 mg/kg (33,04%)

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Según lo observado en la Tabla 8-3, las tres unidades experimentales presentaron reducción de cadmio, siendo mayor ésta pérdida de cadmio en las UE2 y UE3 (56,52% = 0,65 mg/kg), de las que se deducen dos razones:

- 1) que el cadmio haya sido retenido en el tejido vegetal de la especie *Brassica rapa* subsp *oleifera* (valor que se comprobó con análisis de laboratorio), y
- 2) que el cadmio se haya desplazado como lixiviado y no haya sido retenido por la planta.

Conociendo la retención del tejido vegetal de las unidades experimentales UE2 y UE3, hubo una mayor absorción de cadmio en la UE2 (0,53 mg/kg = 46,09%). Mientras que en la unidad experimental UE1 al no intervenir la especie vegetal como método de reducción de cadmio, se ve que la reducción del metal fue movilizado como parte del lixiviado generado (0,12 mg/kg = 10,43%).

Por otra parte, para encontrar el cadmio movilizado en el lixiviado generado de las unidades experimentales UE2 y UE3, se aplicó una diferenciación entre la reducción de cadmio del lodo residual y la concentración de cadmio en el tejido vegetal (Pérdida de Cd – [Cadmio]_{tejido vegetal}). Resultando mayor formación de lixiviado contaminado en la UE3 (0,38 mg/Kg = 33,04%).

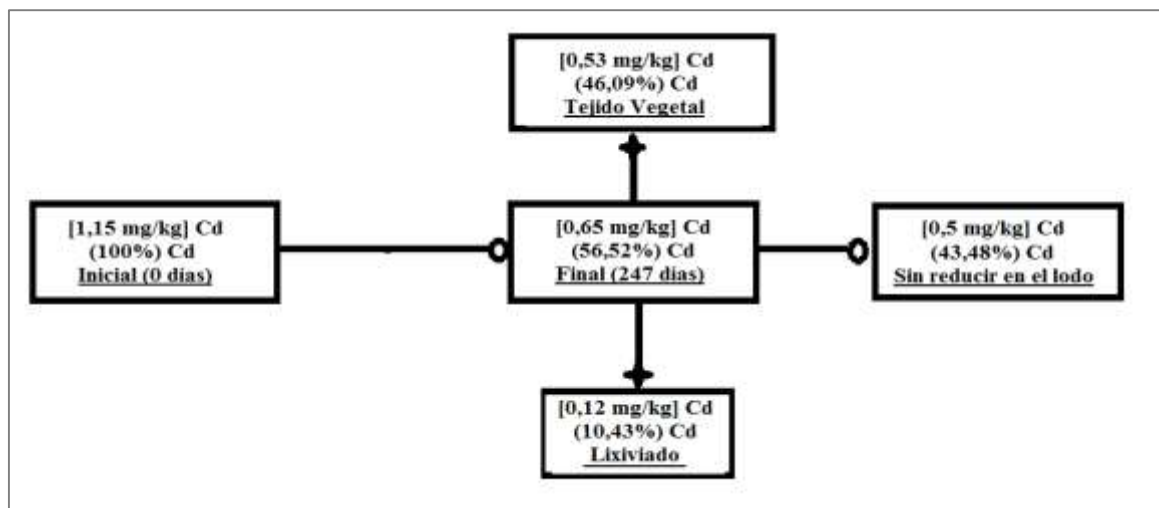


Gráfico 14-3: Balance de masa para la eficiencia de *Brassica rapa* subsp *oleifera* en la reducción de cadmio de la unidad experimental 2.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

En la gráfica 14-3 se explicó la movilidad del contaminante cadmio desde su concentración inicial en los lodos residuales (1,15 mg/kg) hasta ser reducido con 56,52% (0,65 mg/kg) del metal pesado (Cd), distribuido en el tejido vegetal (46,09%) y en el lixiviado (10,43%) durante los 247 días del desarrollo investigativo, y se quedó sin reducir 0,5 mg/kg (43,48%) de cadmio en el lodo residual de la unidad experimental 2.

3.2.4.2 Balance de masa de plomo en las unidades experimentales

Tabla 9-3: Pérdidas de la concentración de plomo en mg/Kg y porcentaje en las tres unidades experimentales al culminar el proceso.

	UE1 (BLANCO)	UE2	UE3
Concentración inicial	21,80 mg/kg (100%)	21,80 mg/kg (100%)	21,80 mg/kg (100%)
Concentración final	20,92 mg/kg (95,96%)	18 mg/kg (82,57%)	18 mg/kg (82,57%)
Pérdidas de Pb ($C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}$)	0,88 mg/kg (4,04%)	3,80 mg/kg (17,43%)	3,80 mg/kg (17,43%)
[Plomo] tejido vegetal	-	1,29 mg/kg (5,92%)	0,56 mg/kg (2,57%)
Pérdida de Pb – [Plomo] tejido vegetal	0,88 mg/kg (4,04%)	2,51 mg/kg (11,51%)	3,24 mg/kg (14,86%)

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

Según lo observado en la Tabla 9-3, las tres unidades experimentales presentaron reducción de plomo, siendo mayor ésta pérdida de cadmio en las UE2 y UE3 (17,43% = 3,80 mg/kg), de las que se deducen dos razones:

- 1) que el plomo haya sido retenido en el tejido vegetal de la especie *Brassica rapa* subsp *oleifera* (valor que se comprobó con análisis de laboratorio), y
- 2) que el plomo se haya desplazado como lixiviado y no haya sido retenido por la planta.

Conociendo la retención del tejido vegetal de las unidades experimentales UE2 y UE3, hubo una mayor absorción de plomo en la UE2 (1,29 mg/kg = 5,92%). Mientras que en la unidad experimental UE1 al no intervenir la especie vegetal como método de reducción de plomo, se ve que la reducción del metal fue movilizad como parte del lixiviado generado (0,88 mg/kg = 4,04%).

Por otra parte, para encontrar el plomo movilizad en el lixiviado generado de las unidades experimentales UE2 y UE3, se aplicó una diferenciación entre la reducción de plomo del lodo residual y la concentración de plomo en el tejido vegetal (Pérdida de Pb – [Plomo] tejido vegetal). Resultando mayor formación de lixiviado contaminado en la UE3 (3,24 mg/Kg = 14,86%).

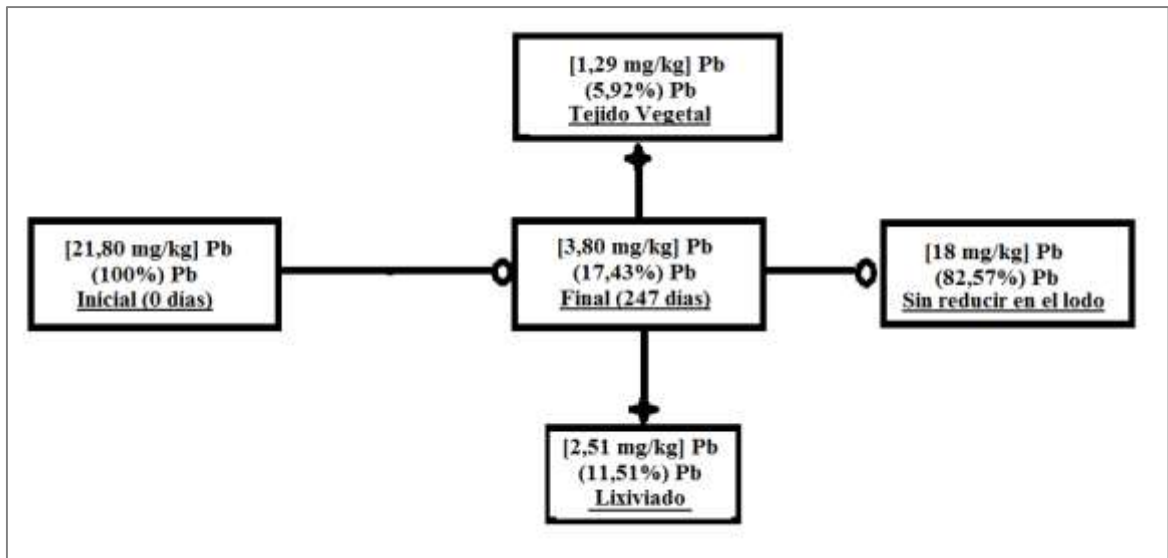


Gráfico 15-3: Balance de masa para la eficiencia de *Brassica rapa subsp oleífera* en la reducción de plomo de la unidad experimental 2.

Elaborado por: Rosales Arévalo y Villavicencio Criollo, 2017.

En la gráfica 15-3 se explicó la movilidad del contaminante plomo desde su concentración inicial en los lodos residuales (21,80 mg/kg) hasta ser reducido con 17,43% (3,80 mg/kg) del metal pesado (Pb), distribuido en el tejido vegetal (5,92%) y en el lixiviado (11,51%) durante los 247 días del desarrollo investigativo, y se quedó sin reducir 18 mg/kg (82,57%) de plomo en el lodo residual de la unidad experimental 2.

3.3 Discusión

En la evaluación de la eficiencia de Brassica rapa subsp oleífera en la reducción de metales pesados (Cd y Pb) de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe, se identificó que la especie vegetal estudiada logró reducir un 46,09 % de cadmio y 5, 92% de plomo en 247 días de tratamiento en la unidad experimental 2, misma que contenía el lodo residual y la germinación de la especie vegetal, además que en ella se generó menos cantidad de lixiviado del contaminante pues su concentración de materia orgánica era inferior, la humedad fue considerada relativamente optima lo que evitó la disolución de los contaminantes, y haciendo factible la movilidad del cadmio y plomo hacia el tejido vegetal.

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización física - química de las muestras del lodo residual en las tres unidades experimentales durante 247 días, los parámetros analizados fueron plomo y cadmio como principales elementos a ser reducidos y evaluados, mientras que los parámetros humedad, pH, temperatura y materia orgánica, aportaron una visión más amplia de las condiciones actuales de las muestras que nos permitió diseñar las unidades y monitorear las variaciones de control para los tratamientos empleados.
- Para la construcción y diseño de las celdas experimentales se tomó como primer punto el número de plántulas de *Brassica rapa* subsp. *oleifera* que se iban a sembrar para el proceso, también el volumen de los lodos residuales, de la materia orgánica empleada como sustrato y de la longitud de la especie vegetal empleada, permitiendo evaluar el desarrollo vegetativo en la muestra de lodo residual.
- Los resultados obtenidos y las gráficas descriptivas de la eficiencia reductora de plomo y cadmio demostraron que la unidad experimental 2 (UE 2) es la más eficiente debido a que la planta cumplió con su ciclo natural al retener tanto Plomo como Cadmio en su tejido vegetal, sin embargo en la UE3 la materia orgánica que fue añadida impidió la movilidad del contaminante hacia el tejido vegetal haciendo que se requiera más tiempo para que pueda fluir e ingresar al tejido vegetal.

RECOMENDACIONES

Para una mayor eficiencia en la reducción de Plomo y Cadmio en lodos residuales se debe ampliar el tiempo de desarrollo vegetativo, porque permite mayor absorción en el tejido vegetal.

La especie *Brassica rapa* subsp *oleifera* posee mejores resultados al encontrarse en un medio in-situ porque permite reducir costo de control y monitoreo ambientales, además de proporcionar un crecimiento vegetativo espontaneo.

El contaminante Cadmio es fácilmente susceptible a la absorción por *Brassica rapa* subsp *oleifera* para un proceso fitorremediador en suelo, logrando así, reducir el agente contaminante en el suelo y en la formación del lixiviado.

BIBLIOGRAFIA

1. **AGOSTINI, E., CONIGLIO, M. S., MILRAD, S. R., TIGIER, H. A., GIULIETTI, A. M.** “Phytoremediation of 2, 4-dichlorophenol by *Brassica napus* hairy root cultures”. *Biotechnology and Applied Biochemistry* [en línea], 2003, (Argentina), 37(2), pp. 139-144. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1263-0901. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12630901>
2. **AGUDELO BETANCUR, LINA MARCELA, MACÍAS MAZO, KARINA ISABEL, SUÁREZ MENDOZA, ALFREDO J.** “Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos”. *Revista Lasallista de Investigación* [en línea], 2005, (Colombia), 2 (1), pp. 57-60. [Consulta: 3 de septiembre de 2017]. ISSN 1794-4449. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520110>
3. **ALEXANDER, M.** *Biodegradation and bioremediation*. 2^{da} edition. San Diego-EEUU: Academic Press, 1999, pp. 302-305. ISBN 9780 1204 98611
4. **ALEXANDER, M.** *Biodegradation and Bioremediation*. San Diego: Academic Press, 1994, pp. 302.
5. **ANGELOVA, V., & IVANOV, K.** “Environmental Monitoring Assessment: Bioaccumulation and distribution of heavy metals in black mustard (*Brassica nigra* Koch)”. *Springer Link* [online], 2009, (Bulgaria), 153(1-4), pp. 449-459. [Consulta: 10 de Agosto de 2016]. ISSN 1573-2959. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0370-y>
6. **ANTRILLAO U. INGRID.** Utilización de nabo forrajero (*Brassica rapa*) como suplemento de otoño para la engorda (tesis). Universidad Austral de Chile, Facultad de agronomía. (Valdivia- Chile), 2009, pp. 36-42. [Consulta: 06 de marzo de 2016].
7. **ARENAS MOYA, S., & HERNANDEZ CARO, S.** Fitotoxicidad del cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) en la especie *Brassica nigra* (tesis pregrado). Universidad de Medellín, Programa de Ingeniería Ambiental. (Medellín-Colombia), 2012, pp. 7-59. [Consulta: 13 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11407/1233>
8. **BANI, A., ECHEVARRÍA, G., SULÇE, S., MOREL, J. L., MULLAI, A.** “Fitoextracción in situ de Ni por una población nativa de *Alyssum murale* en un sitio ultramáfico (Albania)”. *Plant and Soil* [en línea]. 2007, (Albania), 293(1-2), pp. 79-89. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1573-5036. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9245-1>
9. **BEAUDETTE, L. A., M. B. CASSIDY, L. ENGLAND, J. L. KIRK, M. HABASH, H. LEE & J. T. TREVORS.** *Bioremediation of Soil by Encyclopedia of Environmental Microbiology*. EE.UU: John Wiley & Sons, 2002, pp. 27-64.

10. **BEGONIA, G. B., DAVIS, C.D., BEGONIA, M. F. T., GRAY, C. N.** “Growth Responses of Indian Mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern.] and Its Phytoextraction of Lead from a Contaminated Soil Bull”. *Environmental Contamination and Toxicology* [en línea], 1998, (EE.UU.), 61(1), pp. 38-43. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 0007-4861. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s001289900726>
11. **BENAVIDES, J., & CHAMORRO, E.** *Evaluación de diferentes niveles de harina de forraje de nabo (*Brassica campestris*) como suplemento en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*) durante las fases de levante y engorde.* (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Zootecnia, (Colombia-Nariño). 2013, pp. 26-35. [Consulta: 06 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89691>
12. **BERNAL, M. P., CLEMENTE, R., VAZQUEZ, S., WALKER, D. J.** “Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar”. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente: Ecosistemas* [en línea]. 2007, (España), 16 (2), pp. 67-76. [Consulta: 16 de agosto de 2017]. ISBN 1697-2473. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/131>
13. **BHARAGAVA, R., CHANDRA, R., & RAI, V.** “Phytoextraction of trace elements and physiological changes in Indian Mustard plants (*Brassica nigra* L.) Grown in post methanated distillery effluent (PMDE) irrigated soil”. *Bioresource Technology* [online], 2008, (India), pp. 8316-8324. [Consulta: 10 de Agosto de 2016]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.002>
14. **BONILLA VALENCIA, Sara.** Estudio para el tratamiento de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación (tesis pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental, (Quito – Ecuador). 2013, pp. 31-32.
15. **BOONYAPOOKANA, B., PARKPLAN, P., TECHAPINYAWAT, S., DELAUNE, RD., JUGSUJINDA, A.** “Phytoaccumulation of lead by sunflower (*Helianthus annuus*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), and vetiver (*Vetiveria zizanioides*)”. *Journal of Environmental Science and Health A* [en línea], 2005, (EE.UU.), 40 (1), pp. 117-137. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1566-3304. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15663304>
16. **BRANDT, R., MERKL, N., SCHULTZE-KRAFT, R., INFANTE, C. BROLL, G.** “Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) for phytoremediation of hydrocarbon contaminated soils in Venezuela”. *International Journal of Phytoremediation*. [en línea], 2006, (Venezuela), 8(4), pp. 276-284. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/15226510600992808>

17. **CANCIÓN, KM, OSBORN, TC Y WILLIAMS, PH.** “La taxonomía de *Brassica* basada en polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción nuclear (RFLPs)”. *Theoret. Appl. Genetics* [en línea], 1988, 76(4), pp. 593- 600. [Consulta: 05 de marzo de 2016] ISSN 1432-2242. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00260914>
18. **CHANDRA, P., KULSHRESHTHA, K.** “Chromium accumulation and toxicity in aquatic vascular plants”. *The Botanical Review* [en línea]. 2004, 70(3), pp. 313-327. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1874-9372. Disponible en: [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2004\)070\[0313:CAATIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2004)070[0313:CAATIA]2.0.CO;2)
19. **CHANDRA, S. K., KAMALA, C. T., CHARY, N. S., BALARAM, V., GARCIA, G.** “Potential of *Hemidesmus indicus* for phytoextraction of lead from industrially contaminated soils”. *Chemosphere* [en línea], 2005, (India), 58(4), pp. 507-514. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1562-0742. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.022>
20. **CHERIAN, S., OLIVEIRA, M.** “Plantas transgénicas en la fitorremediación: avances recientes y nuevas posibilidades” *Ciencia y tecnología ambiental* [en línea], 2005, (Portugal), 39 (24), pp. 9377-9390. [Consulta: 16 de abril de 2017]. ISSN 1647-5312. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16475312#>
21. **CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN.** COOTAD. Registro Oficial Suplemento 303. Capítulo III: Gobierno Autónomo descentralizado Municipal. Actualizado: 14 de enero de 2013. [Consulta: 18 de agosto de 2017].
22. **COYAGO, E. & BONILLA, S.** “Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano”. *La Granja: Revista de Ciencia de la Vida* [en línea], 2016, (Ecuador), 23(1), pp. 35-46. [Consulta: 10 de julio de 2017]. ISSN 1390-3799. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.04>
23. **DAS, SURAJIT & RAJAN DASH HIRAK.** *Handbook of metal-microbe interactions and bioremediation.* Florida-EE.UU.: CRC PRESS, 2017, pp. 7-43. ISBN 9781-4987-6243-4.
24. **HARO A. DE, et al.** *Ciencia y Restauración del río Guadiamar: Seguimiento de fitorremediación de los suelos afectados por el vertido de las minas de Aznalcóllar.* Andalucía – España: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, 200, pp. 266. ISBN 84-95785-35-8
25. **DELGADILLO LÓPEZ, A., GONZALES RAMÍREZ, C., PRIETO GARCÍA, F., VILLAGÓMEZ IBARRA, J. & ACEVEDO SANDOVAL, O.** “Fitorremediación: una alternativa para eliminar contaminación” *Tropical and subtropical Agroecosystems*

- [en línea], 2011, (México), 14 (2), pp. 597-612. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1870-0462 Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-04622011000200002&script=sci_arttext
26. **DÍEZ LÁZARO, J.** *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas*. Santiago de Compostela-España: Universidad de Santiago de Compostela. Servicio de publicaciones e intercambio científico, 2009, pp. 27-49. ISBN 978-84-9887-202-6.
 27. **DONELAN, P.** *Cultivo de semillas*. 3^{era} ed. California-EEUU: Ecology Action, 2009, pp. 20, 22.
 28. **EWEIS, J.B., ERGAS S.I., CHANG D.P., SCHROEDER E.D.** *Bioremediation Principles*. Madrid – España: McGraw-Hill international editions, 1998, pp. 296. ISBN 978 007 057 7329.
 29. **GODWIN, BOB; THORPE, JEFF; FARRELL, R.E.** *Evaluación de la fitorremediación como técnica in situ para la limpieza de sitios contaminados con hidrocarburos - fase final del informe final*. Alianza de Tecnología Petrolera de Canadá (PTAC) (Canadá). 2000, 7 (1), pp. 105-124.
 30. **GUEVARA GARCÍA, P., & MONTES PAGUAY, L.** Espacialización de concentración de metales pesados cromo, zinc y plomo en el complejo industrial Fabrilfame y propuesta de remediación de suelos (tesis pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. (Quito-Ecuador), 2014, pp. 3, 15. [Consulta: 06 de marzo de 2016]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8481>
 31. **HAN, F., BANIN, A., KINGERY, W., TRIPLETT, G., ZHOU, LX. ZHENG, SJ & DING, WEIXIN.** “New approach to studies of heavy metal redistribution in soil”. *Advances in Environmental Research*. [en línea]. 2003, (EE.UU.) 8 (1), pp. 113-120. [Consulta: 15 de agosto de 2017]. ISSN 1093-0191. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00142-9](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00142-9).
 32. **HETTIARCHCHI, G.M. AND PIERZYNSKI, G.M.** “In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide: Influence of plant growth”. *Journal Environmental Quality* [en línea], 2002, 31(2), pp. 564- 573. [Consulta: 15 de febrero de 2017]. ISSN 1193-1448. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11931448>
 33. **HOSSAIN, M., PIYATIDA, P., TEIXEIRA DA SILVA, J., FUJITA, M.** “Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation” *Journal of Botany* [en línea], 2012, (Japón), 1 (1), pp. 3-5. [Consulta: 13 de

Agosto de 2017]. ISSN 8728-875. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1155/2012/8728875>

34. **HOWARD, M. RAWSON., HELENA, G. MACPHERSON.** *Trigo regado: descripción de los problemas y soluciones.* Factores ambientales [en línea]. Roma: FAO, 2001 [Consulta: 04 de agosto de 2017]. Disponible en: www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s00.htm#contents.
35. **JARA-PEÑA, E.; GÓMEZ, I.; MONTOYA, H.; CHANCO, M.; MARIANO, M.; CANO, N.** “Capacidad fitorremediadora de cinco especies alto andinas de suelos contaminados con metales pesados”. *Revista Peruana de Biología* [en línea], 2014, (Perú) 21 (2), pp. 145-154. [Consulta: 12 enero 2016]. ISSN 1727-9933. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v2li2.9817>
36. **LAPERCHE, V., LOGAN, T.J., GADDAM, P., TRAINA, S.J.** “Effect of apatite amendment on plant uptake of Pb from contaminated soil”. *Environmental Science Technology* [en línea], 1997, (Ohio), 31(10), pp. 2745-2753. [Consulta: el 15 de febrero de 2017]. ISSN 0013-936X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/es961011o>
37. **LENNTECH, BV.** *Tabla periódica, Elemento- Plomo, Cadmio.* [En línea] Rotterdam: 2001. Disponible en: www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm
38. **LORA M., BONILLA, H.** *Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo.* Bogotá – Colombia: Revista UDCA, 2010, pp. 61-63.
39. **MARTA CRUZ & GUZMÁN ALCALÁ.** *La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias.* Sevilla – España: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 2007, pp. 51-66. ISBN 978-84-472-0926-2
40. **MONTENEGRO GONZALEZ, H y MALAGÓN CASTRO, D.** Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990, (Colombia), pp. 797. [Consulta: 17 de agosto de 2017].
41. **NAVARRO AVIÑÓ, J. P., AGUILAR ALONSO, I., LÓPEZ MOYA, J. R.** “Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas”. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente: Ecosistemas* [en línea]. 2007, (España), 16(2), pp. 1-17. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1132-6344. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016203>
42. **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.** *Exposure to cadmium: a major public health concern. Preventing disease through healthy environments.* Geneva, Switzerland: WHO Document Production Services, 2010, pp. 379
43. **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.** Intoxicación por plomo y cadmio en la salud. Boletín de prensa [en línea], 2016. [Consulta: 14 de marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>

44. **PERDOMO ROLDÁN, Francisco.** *Malezas de México: Brassica rapa.* [Blog]. México: Heike Vibrans, 16 de julio, 2009. [Consulta: 29 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/brassica-rapa/fichas/ficha.htm>
45. **PILON-SMITS, E. A., HWANG, S., MEL-LYTTLE, C., ZHU, Y., TAI, J. C., BRAVO, R. C., CHEN, Y., LEUSTEK, T., TERRY, N.** “Overexpression of ATP sulfurylase in indian mustard leads to increased selenate uptake, reduction, and tolerance”. *Journal of Plant Physiology* [en línea], 1999, (EE.UU.), 119(1), pp. 123-132. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 9880-0353. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9880353>
46. **PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE.** *Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe. United Nations Environment Programme (UNEP). Análisis del flujo.* [En línea] Lima-Peru (2010). pp. 5-86. Disponible en: http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/
47. **PRIETO M. J., GONZÁLEZ R. C., ROMÁN G. A., PRIETO G. F.** “Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua”. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea], 2009, (México), 10(1), pp. 29-44. [Consulta: 12 de agosto de 2017]. ISSN 1870-0462. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
48. **PUGA SORAYA, SOSA MANUELA, LEBGUE TOUTCHA, QUINTANA CESAR & CAMPOS ALFREDO.** “Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera”. *Revista Ecología Aplicada* [en línea], 2006, (Perú), 5 (1,2), pp. 149-155. [Consulta: 3 de septiembre de 2017]. ISSN 1726-2216. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34150220>
49. **REEVES, ROGER D.** “Hiperacumuladores tropicales de metales y su potencial para la fitoextracción”. *Plant and Soil* [en línea], 2003, (Nueva Zelanda), 249(1), pp. 57-65. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1573-5036. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022572517197>
50. **RODRÍGUEZ ORTIZ, J., RODRÍGUEZ FUENTES, H., LIRA REYES, G., MARTÍNEZ DE LA CERDA, J., LARA MIRELES, J.** “Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados”. *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], 2006, (México), 29(3), pp. 239-245. [Consulta: 5 de septiembre de 2016]. ISSN 0187-7380. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61029308>

51. **RODRÍGUEZ, M., MARTÍNEZ, N., ROMERO, M., DEL RIO, L., SANDALIO, L.** “Toxicidad del cadmio en plantas”. *Revista ecosistemas* [en línea], 2008, (España), 17 (3), pp. 139-146. [Consulta: 13 de abril de 2017]. ISSN 1697-2473. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8734/1/ECO_17\(3\)_14.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8734/1/ECO_17(3)_14.pdf)
52. **ROJAS LORIA, César.** Efecto de la interacción hongo- *Dodonaea viscosa* L. Jacq en la fitorremediación de plomo en un sistema in vitro (Tesis posgrado). Universidad Autónoma Metropolitana. (México -Distrito Federal), 2010, pp. 5-26. [Consulta: 16 de abril de 2016]. Disponible en: http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/aspuam/ver_texto.php?recno=14704&documento=UAMI14704.
53. **SAUQUILLO, A., RIGOL, & RAURET, G.** “Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments” *Trends in Analytical Chemistry* [en línea], 2003, (España), 22 (3), pp. 152-159. [Consulta: 21 de Agosto de 2017]. ISSN 0165-9936. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)00303-0](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)00303-0)
54. **SCHWARTZ, C., ECHEVARRIA, G., MOREL, J. L.** “Phytoextraction of cadmium with *Thlaspi caerulescens*”. *Plant and Soil* [en línea], 2003, 249(1), pp. 27-35. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1573-5036. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1022584220411>
55. **SEPULVEDA, T. VELASCO, J.** *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. México: INE-SEMARNAT, 2002, pp. 18, 25-53. ISBN 968 817 557 9.
56. **SHARMA, N. C., GARDEA-TORRESDEY, J. L., PARSONS, J., SAHI, S. V.** “Chemical speciation and cellular deposition of lead in *Sesbania drummondii*”. *Environmental Toxicology and Chemistry* [en línea], 2004, (EE.UU.), 23(9), pp. 2068-2073. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1537-8980. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15378980>
57. **STOHS, S.J., BAGCHI, D., HASSOUN, E. & BAGCHI, M.** “Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions”. *Journal Environment Pathology, Toxicology and oncology* [en línea], 2000, (EE.UU.), 19 (3), pp. 201-213. [Consulta: 13 de Agosto de 2017]. ISSN 1098-3887. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10983887>
58. **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** *Treatment technologies for site clean-up: annual status report*. 10th edition. EE.UU: Office of solid waste and emergency response/ technology innovation office. 2001, pp. 38. [Consulta: 03 de septiembre de 2017] EPA-542-R-01-004. Disponible en: <http://clu-in.org/asr>

59. **VAN DEUREN, J., LLOYD, S. CHETRY, R. LIOU & J. PECK.** *Remediation Technologies screening matrix and Reference Guide*. 4th edition. EE.UU: EPA Platinum international Inc., 2002, pp. 34-95.
60. **VARA PRASAD, M. y DE OLIVEIRA FREITAS, H.** “*Metal hyperaccumulation in plants: Biodiversity prospecting for phytoremediation technology*”. *Electronic Journal of Biotechnology* [en línea], 2003, (Chile), 6(3), pp. 285 – 321. [Consulta: 13 de Agosto de 2017]. ISSN 0717-3458. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-34582003000300012>.
61. **VOLKE SEPÚLVEDA, T., VELAZCO TREJO, J. & DE LA ROSA PÉREZ, D.** *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. México: Instituto Nacional de Ecología, 2005, pp. 1-141. ISBN10: 9688174920.
62. **WENZEL, W. W., UNTERBRUNNER, R., SOMMER, P., SACCO, P.** “Chelate-assisted phytoextraction using canola (*Brassica napus L.*) in outdoors pot and lysimeter experiments”. *Plant and Soil*. [en línea], 2003, (EE.UU.), 249(1), pp. 83-96. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1537-5036. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1022516929239>
63. **WU, Q. T., WEI, Z. B., OUYANG, Y.** “Phytoextraction of Metal-Contaminated Soil by *Sedum alfredii H*: Effects of Chelator and Co-planting”. *Water, Air, & Soil Pollut* [en línea], 2007, 180(14), pp. 131-139. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1573-2932. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9256-1>
64. **ZHUANG, P., YANG, Q. W., WANG, H. B., SHU, W. S.** “Phytoextraction of Heavy Metals by Eight Plant Species in the Field”. *Water, Air, & Soil Pollution* [en línea], 2007, 184(1-4), pp. 235-242. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1573-2932. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9412-2>
65. **ZHUANG, P., YE, Z. H., LAN, C. Y., XIE, Z. W., SHU, W. S.** “Chemically assisted phytoextraction of heavy metal contaminated soils using three plant species”. *Plant and Soil* [en línea], 2005, 276(1-2), pp. 153-162. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. ISSN 1573-5036. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-005-3901-0>

ANEXOS

Anexo A: Datos diarios de los parámetros de control (temperatura, humedad y pH) analizados en los lodos residuales de las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3) durante 247 días.

N°	Fecha (día/mes/año)	Hora (24 horas)	UNIDAD EXPERIMENTAL 1			UNIDAD EXPERIMENTAL 2			UNIDAD EXPERIMENTAL 3		
			Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)
1	16/12/2015	10:44	-	28,78	7,55	-	28,78	7,55	-	28,78	7,55
2	15/08/2016	13:10	16,00	10,00	3,55	17,00	10,00	3,50	18,00	10,00	3,50
3	17/08/2016	09:30	16,00	25,00	4,50	17,00	25,00	4,50	16,00	25,00	4,50
4	19/08/2016	13:20	18,00	30,00	4,50	17,00	25,00	5,50	18,00	20,00	5,00
5	22/08/2016	10:30	17,00	35,00	7,50	18,00	30,00	5,50	18,00	25,00	5,00
6	24/08/2016	13:15	16,00	35,00	7,50	16,00	35,00	5,50	18,00	35,00	5,50
7	26/08/2016	11:10	16,00	35,00	7,50	18,00	35,00	5,50	18,00	30,00	5,50
8	29/08/2016	16:05	18,00	30,00	7,50	19,00	40,00	5,50	20,00	35,00	5,50
9	31/08/2016	08:35	16,00	35,00	7,50	18,00	45,00	5,50	18,00	35,00	6,50
10	02/09/2016	14:05	15,00	35,00	7,50	17,00	45,00	5,00	18,00	35,00	6,50
11	05/09/2016	09:00	16,00	35,00	7,50	19,00	40,00	5,00	20,00	40,00	6,00
12	07/09/2016	11:20	14,00	45,00	7,50	19,00	40,00	5,00	20,00	35,00	6,00
13	09/09/2016	09:25	17,00	45,00	7,50	16,00	40,00	6,50	14,00	40,00	6,00
14	12/09/2016	13:15	16,00	40,00	7,50	17,00	40,00	6,00	16,00	40,00	7,50
15	14/09/2016	10:25	14,00	40,00	6,50	16,00	40,00	6,00	16,00	40,00	6,50
16	16/09/2016	13:30	16,00	40,00	6,50	18,00	35,00	6,00	18,00	40,00	6,50
17	19/09/2016	11:15	14,00	40,00	6,00	17,00	35,00	6,00	18,00	45,00	6,00
18	21/09/2016	16:15	16,00	40,00	5,50	19,00	35,00	6,00	20,00	45,00	5,50
19	23/09/2016	08:40	14,00	40,00	6,50	17,00	40,00	5,50	16,00	35,00	6,50
20	26/09/2016	14:15	17,00	35,00	5,50	19,00	40,00	5,50	20,00	45,00	5,50
21	28/09/2016	09:10	16,00	45,00	6,00	16,00	40,00	6,00	16,00	30,00	6,00
22	30/09/2016	11:30	17,00	30,00	6,00	18,00	40,00	5,50	18,00	45,00	6,00
23	03/10/2016	09:25	14,00	45,00	6,00	17,00	35,00	6,50	18,00	40,00	6,00
24	05/10/2016	13:15	16,00	40,00	6,00	17,00	45,00	6,50	18,00	40,00	6,00
25	07/10/2016	10:25	16,00	40,00	6,00	18,00	30,00	6,50	16,00	40,00	6,00
26	10/10/2016	13:30	16,00	40,00	6,00	17,00	45,00	6,00	18,00	45,00	6,00
27	12/10/2016	11:15	15,00	45,00	6,50	17,00	40,00	6,00	16,00	45,00	6,50
28	14/10/2016	16:15	16,00	45,00	6,50	17,00	40,00	6,00	18,00	30,00	5,00
29	17/10/2016	08:40	14,00	45,00	6,00	16,00	40,00	6,00	14,00	30,00	5,00
30	19/10/2016	14:15	17,00	45,00	6,00	20,00	45,00	7,00	20,00	35,00	5,50
31	21/10/2016	09:10	16,00	40,00	6,00	16,00	45,00	6,50	14,00	35,00	5,50
32	24/10/2016	11:30	17,00	40,00	6,00	17,00	30,00	6,50	18,00	30,00	5,00

N°	Fecha (día/mes/año)	Hora (24 horas)	UNIDAD EXPERIMENTAL 1			UNIDAD EXPERIMENTAL 2			UNIDAD EXPERIMENTAL 3		
			Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)
33	26/10/2016	09:25	14,00	40,00	6,00	16,00	30,00	6,50	14,00	35,00	6,52
34	28/10/2016	13:15	16,00	35,00	6,50	19,00	35,00	6,50	18,00	30,00	6,00
35	31/10/2016	10:25	16,00	35,00	6,50	18,00	35,00	7,00	18,00	35,00	6,00
36	02/11/2016	13:30	16,00	35,00	6,00	17,00	30,00	7,00	20,00	35,00	6,50
37	04/11/2016	11:15	15,00	35,00	6,00	17,00	35,00	7,00	16,00	35,00	6,50
38	07/11/2016	16:15	16,00	35,00	6,00	17,00	30,00	6,50	18,00	30,00	6,50
39	10/11/2016	10:00	14,00	33,68	6,76	16,00	30,90	6,72	14,00	33,26	7,12
40	14/11/2016	14:15	16,00	40,00	6,50	18,00	35,00	6,00	16,00	35,00	6,50
41	16/11/2016	09:10	15,00	35,00	6,50	17,00	30,00	6,00	16,00	35,00	6,50
42	18/11/2016	11:55	16,00	45,00	7,50	19,00	40,00	6,00	20,00	30,00	6,50
43	21/11/2016	09:20	15,00	45,00	7,00	18,00	40,00	6,00	16,00	35,00	5,50
44	23/11/2016	13:00	16,00	45,00	7,00	20,00	40,00	5,50	20,00	40,00	5,50
45	25/11/2016	10:15	15,00	40,00	7,00	17,00	35,00	5,50	16,00	40,00	5,50
46	28/11/2016	13:25	18,00	40,00	7,50	19,00	45,00	6,00	18,00	45,00	5,50
47	30/11/2016	10:55	16,00	40,00	7,50	17,00	45,00	5,50	16,00	45,00	5,50
48	02/12/2016	16:10	16,00	40,00	7,50	18,00	40,00	6,50	20,00	35,00	5,50
49	05/12/2016	08:20	17,00	40,00	7,50	17,00	40,00	6,50	18,00	35,00	5,00
50	07/12/2016	14:00	15,00	40,00	7,50	18,00	35,00	6,50	18,00	35,00	5,00
51	09/12/2016	12:15	17,00	40,00	7,00	18,00	35,00	6,50	22,00	30,00	6,50
52	12/12/2016	09:15	14,00	35,00	7,00	15,00	30,00	6,50	14,00	25,00	6,00
53	14/12/2016	13:10	18,00	40,00	7,50	19,00	35,00	6,50	18,00	30,00	6,00
54	16/12/2016	10:15	15,00	40,00	6,50	18,00	35,00	6,50	16,00	30,00	6,00
55	19/12/2016	13:20	17,00	40,00	6,50	17,00	35,00	6,50	18,00	30,00	6,00
56	21/12/2016	11:05	17,00	40,00	6,50	19,00	35,00	6,50	16,00	30,00	6,00
57	23/12/2016	16:10	17,00	45,00	6,50	18,00	40,00	6,50	18,00	35,00	5,50
58	28/12/2016	14:05	17,00	45,00	6,50	18,00	40,00	6,00	20,00	35,00	5,50
59	30/12/2016	09:00	16,00	45,00	6,50	16,00	40,00	6,00	16,00	35,00	6,00
60	06/01/2017	11:15	16,00	40,00	6,50	18,00	25,00	6,50	16,00	20,00	5,50
61	09/01/2017	09:30	16,00	40,00	6,50	17,00	40,00	6,00	16,00	35,00	6,50
62	11/01/2017	13:20	15,00	45,00	6,50	18,00	35,00	6,00	18,00	35,00	6,50
63	13/01/2017	10:00	15,00	40,00	6,00	18,00	35,00	5,00	16,00	40,00	6,50
64	16/01/2017	12:55	15,00	40,00	6,00	17,00	40,00	5,50	16,00	40,00	6,50
65	18/01/2017	11:10	15,00	40,00	7,00	15,00	40,00	5,50	16,00	40,00	6,50
66	20/01/2017	16:05	14,00	40,00	7,50	18,00	40,00	5,50	20,00	40,00	6,50
67	23/01/2017	08:15	14,00	40,00	7,50	18,00	35,00	5,50	18,00	40,00	6,50
68	25/01/2017	14:05	15,00	35,00	8,00	18,00	40,00	5,50	20,00	40,00	6,50

N°	Fecha (día/mes/año)	Hora (24 horas)	UNIDAD EXPERIMENTAL 1			UNIDAD EXPERIMENTAL 2			UNIDAD EXPERIMENTAL 3		
			Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	pH (UpH)
69	27/01/2017	09:00	14,00	35,00	7,50	18,00	35,00	5,50	16,00	40,00	6,50
70	30/01/2017	11:45	14,00	40,00	8,00	19,00	40,00	5,00	17,00	35,00	6,50
71	01/02/2017	09:25	16,00	40,00	8,00	15,00	35,00	5,00	14,00	35,00	6,50
72	03/02/2017	13:15	17,00	40,00	7,50	16,00	40,00	5,00	18,00	35,00	6,50
73	06/02/2017	10:25	15,00	40,00	7,50	17,00	40,00	6,50	18,00	35,00	6,50
74	08/02/2017	13:30	14,00	35,00	7,50	17,00	40,00	6,00	18,00	35,00	7,00
75	10/02/2017	11:15	13,00	35,00	7,50	17,00	40,00	6,00	16,00	35,00	7,00
76	13/02/2017	16:15	14,00	35,00	7,50	17,00	45,00	6,00	20,00	40,00	7,00
77	15/02/2017	08:40	13,00	35,00	7,50	18,00	45,00	6,00	18,00	35,00	7,00
78	17/02/2017	14:15	14,00	35,00	7,50	17,00	45,00	6,00	18,00	40,00	6,50
79	20/02/2017	09:10	15,00	35,00	7,50	18,00	45,00	5,50	16,00	40,00	6,50
80	22/02/2017	11:30	12,00	40,00	7,50	19,00	45,00	5,50	18,00	40,00	6,50
81	24/02/2017	09:15	17,00	40,00	7,50	16,00	35,00	6,00	14,00	40,00	6,50
82	01/03/2017	13:10	16,00	40,00	7,50	14,00	35,00	5,50	16,00	35,00	6,50
83	03/03/2017	10:15	18,00	40,00	8,00	18,00	35,00	6,50	16,00	35,00	6,50
84	06/03/2017	13:20	14,00	45,00	8,00	18,00	35,00	6,50	18,00	35,00	6,50
85	08/03/2017	11:05	18,00	40,00	8,00	17,00	35,00	6,50	18,00	35,00	6,50
86	10/03/2017	16:10	15,00	40,00	8,00	17,00	35,00	6,50	20,00	35,00	6,50
87	13/03/2017	08:50	16,00	36,40	7,86	17,00	35,50	7,40	16,00	32,54	7,29
88	15/03/2017	14:05	16,00	40,00	7,00	16,00	30,00	7,00	20,00	35,00	6,50
89	17/03/2017	09:00	17,00	35,00	7,50	20,00	30,00	7,00	16,00	35,00	6,50
90	20/03/2017	11:15	16,00	35,00	7,50	18,00	40,00	7,00	18,00	30,00	6,50
91	22/03/2017	09:20	15,00	40,00	8,00	15,00	35,00	6,50	16,00	30,00	6,50
92	24/03/2017	13:00	14,00	40,00	7,50	15,00	35,00	6,50	18,00	30,00	6,50
93	27/03/2017	10:15	15,00	40,00	8,00	18,00	40,00	6,50	16,00	30,00	6,00
94	29/03/2017	13:25	14,00	40,00	8,00	17,00	35,00	6,00	16,00	30,00	6,00
95	31/03/2017	10:55	14,00	35,00	7,50	17,00	35,00	6,00	16,00	35,00	6,00
96	05/04/2017	16:10	14,00	35,00	7,50	18,00	35,00	6,50	20,00	35,00	6,00
97	10/04/2017	11:10	14,00	35,00	7,50	18,00	40,00	6,50	18,00	35,00	6,50
98	13/04/2017	16:05	14,00	35,00	7,50	17,00	35,00	7,00	17,00	30,00	6,50
99	18/04/2017	10:15	16,00	35,13	7,75	16,00	35,04	7,26	17,00	30,61	7,32

Realizado por: María Belén Villavicencio Criollo y Fredy Geovanny Rosales Arévalo, 2017

Anexo B: Análisis de reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales de las unidades experimentales (UE1, UE2 y UE3).

Análisis inicial: unidad experimental 1 - 2 - 3.



Rigoberto Heredia De6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 331957/2015-12	Rev. 49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 08
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS:

PARAMETRO ANALIZADO	METODOLOGIA DE REFERENCIA	REQUISITO ESTADO CORPLAB	UNIDAD	EXACTITUD SI	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	RESULTADO OBTENIDO
FÓSFORO(*)	Fusion-Xtalite	PA - 40.00	mg/kg	999.7	NO APLICA	NO APLICA
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	Standard Methods, Ed. 22, 2012 4500-N _{org} -C	PA - 72.00	mg/kg	7707.3 ¹⁸	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	EPA 8045-D, Rev. 04, 2004	PA - 05.00	UptH	7.55	4 a 8	CUMPLE
SODIO	EPA 3050-B, Rev. 02, 1996; Standard Methods, Ed. 22, 2012, 3111B	PA - 07.00	mg/kg	1.15	0.5	NO CUMPLE
COBALTO	EPA 3050-B, Rev. 02, 1996; EPA 7200, Rev. 3, 1995	PA - 24.00	mg/kg	7.9	10	CUMPLE
CROMO TOTAL	EPA 3060B, Rev. 02, 1996; Standard Methods Ed. 22-2012, 3111B	PA - 18.00	mg/kg	0.0	34	CUMPLE
MERCURIO	EPA 7471B, Rev. 02, 2007; Standard Methods, Ed. 22, 2012, 3102B	PA - 07.00	mg/kg	0.10	0.1	CUMPLE
NÍQUEL	EPA 3050-B, Rev. 02, 1996; Standard Methods, Ed. 22, 2012, 3111B	PA - 00.00	mg/kg	14.4	18	CUMPLE
PLOMBO	EPA 3050-B, Rev. 02, 1996; Standard Methods, Ed. 22, 2012, 3111B	PA - 09.00	mg/kg	21.8	18	NO CUMPLE
MATERIA ORGÁNICA(*)	WALKLEY BLACK, 1934	PA - 30.00	%	8.00	NO APLICA	NO APLICA
HUMEDAD(*)	EPA 160.3	PA - 80.00	%	20.78	NO APLICA	NO APLICA



REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indica a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

¹⁸ Acuerdo Ministerial No.034, TULCUMA, (Año 14), Anexo 2, Norma de calidad ambiental del recurso agua y criterios de remediación para suelos contaminados, Tabla 1, Criterios de Calidad de Suelos

¹⁹ Criterio de resultado

²⁰ Los valores reportados se encuentran fuera del rango de acreditación del SAE para Nitrógeno Total Kjeldahl de 0,5 a 3105 mg/kg



Análisis intermedio 1: unidad experimental 1.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 05-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 1265
ST: 048- 016 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: GAD DEL CANTÓN PENIPE
Ata: Fredy Rosales Arévalo
Dirección: Abdón Calderón y Antonio Ante
Penipe - Chimborazo

FECHA: 21 de Noviembre del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/11/10 - 17:08
FECHA DE MUESTREO: 2016/11/10 - 10:20
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/11/10 - 2016/11/21
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO CESTTA: LAB-S 132-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Cámara de Iodo Penipe centro
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Fredy Rosales
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (\pm 2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
*Humedad	PEE/CESTTA/80 ASTM D4959	μ S/cm	33,68	-	-
Materia Orgánica	PEE/CESTTA/195 Método de referencia NEN 5754.2005	%	9,08	\pm 5%	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	6,76	\pm 0,4	6-8
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	1,13	\pm 23%	0,5
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	21,26	\pm 38%	19

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permisibles permitidos indicados en la Tabla 1: Criterios de calidad del suelo. TTULSMA. Anexo II. Solicitados por el cliente.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis intermedio 1: unidad experimental 2.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	---	--

INFORME DE ENSAYO No: 1266
ST: 048- 016 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: GAD DEL CANTÓN PENIPE
Atn. Freddy Rosales Arévalo
Dirección: Abdón Calderón y Antonio Ante
 Penipe - Chimborazo

FECHA: 21 de Noviembre del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/11/10 - 17:04
FECHA DE MUESTREO: 2016/11/10 - 10:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/11/10 - 2016/11/21
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO CESTTA: LAB-S 130-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Cámara de todo Penipe centro
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Freddy Rosales
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
*Humedad	PEE/CESTTA/80 ASTM D4959	µS/cm	30,9	-	-
Materia Orgánica	PEE/CESTTA/195 Método de referencia NEN 5754.2005	%	12,96	±5%	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	6,72	±0,4	6-8
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	<0,8	±23%	0,5
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	<20	± 38%	19

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permisibles permitidos indicados en la Tabla 1: Criterios de calidad del suelo. TTULSMA. Anexo II. Solicitados por el cliente.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis intermedio 1: unidad experimental 3.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 1267
ST: 048- 016 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: GAD DEL CANTÓN PENIPE
Ata: Fredy Rosales Arévalo
Dirección: Abdón Calderón y Antonio Ante
 Penipe - Chimborazo

FECHA: 21 de Noviembre del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/11/10 - 17:06
FECHA DE MUESTREO: 2016/11/10 - 10:10
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/11/10 - 2016/11/21
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO CESTTA: LAB-S 131-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Cámara de lodo Penipe centro
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Fredy Rosales
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
*Humedad	PEE/CESTTA/80 ASTM D4959	µS/cm	33,26	-	-
Materia Orgánica	PEE/CESTTA/195 Método de referencia NEN 5754.2005	%	22,32	±5%	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	7,12	±0,4	6-8
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	<0,8	+23%	0,5
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	<20	± 38%	19

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permisibles permitidos indicados en la Tabla 1: Criterios de calidad del suelo. TTULSMA. Anexo II. Solicitados por el cliente.

RESPONSABLE DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis intermedio 2: unidad experimental 1.

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 08-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	---

INFORME DE ENSAYO No: S-87-17
ST: 025- 17 - ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: GAD MUNICIPAL DE PENIPE
Atm: Freddy Rosales Arévalo
Dirección: Abdón Calderón y Antonio Ante
 Riobamba - Chimborazo

FECHA: 22 de Marzo del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/03/13 - 10:48
FECHA DE MUESTREO: 2017/03/13 - 08:50
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/03/13 - 2017/03/22
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO CESTTA: LAB-S-87-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: Lodo suelo fértil
PUNTO DE MUESTREO: Escuela - Cantón Penipe
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico - Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Ma. Belén Villavicencio
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (*)
*Humedad	PEE/LABCESTTA/80 ASTM D4959	%	36,40	-	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	7,86	±0,4	-
Materia Orgánica	PEE/LABCESTTA/195 Método de referencia NEN 5754.2005	%	8,63	±5%	-
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	20,98	±38%	-
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	1,06	±23%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Aparicio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis intermedio 2: unidad experimental 2.

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 08-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
--	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 5-89-17
 ST: 025- 17 - ANÁLISIS DE SUELOS
 Nombre Peticionario: GAD MUNICIPAL DE PENIPE
 Atm: Freddy Rosales Arévalo
 Dirección: Abdón Calderón y Antonio Ante
 Riobamba - Chimbonazo

FECHA: 22 de Marzo del 2017
 NUMERO DE MUESTRAS: 1
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/03/13 - 10:49
 FECHA DE MUESTREO: 2017/03/13 - 09:10
 FECHA DE ANÁLISIS: 2017/03/13 - 2017/03/22
 TIPO DE MUESTRA: Suelo
 CÓDIGO CESTTA: LAB-S 89-17
 CÓDIGO DE LA EMPRESA: Lodo suelo fértil y planta
 PUNTO DE MUESTREO: Escuela - Cantón Penipe
 ANÁLISIS SOLICITADO: Físico - Químico
 PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Ma. Belén Villavicencio
 CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (*)
*Humedad	PEE/LABCESTTA/80 ASTM D4959	%	35,50	-	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	7,40	±0,4	-
Materia Orgánica	PEE/LABCESTTA/195 Método de referencia NEN 5754.2005	%	9,63	±5%	-
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	<20	±38%	-
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	<0,8	±23%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:

Dr. Aparicio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis intermedio 2: unidad experimental 3.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 20 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: S-88-17
ST: 025- 17 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: GAD MUNICIPAL DE PENIPE
Atm: Freddy Rosales Arévalo
Dirección: Abdón Calderón y Antonio Ante
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 22 de Marzo del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/03/13 - 10:49
FECHA DE MUESTREO: 2017/03/13 - 09:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/03/13 - 2017/03/22
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO CESTTA: LAB-S 88-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: Suelo fértil abono planta y lodo
PUNTO DE MUESTREO: Escuela - Cantón Penipe
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico - Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Ma. Belén Villavicencio
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (*)
*Humedad	PEE/LABCESTTA/80 ASTM D4959	%	32,54	-	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	7,29	±0,4	-
Materia Orgánica	PEE/LABCESTTA/195 Método de referencia NEN 5754.2005	%	11,44	±5%	-
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	<20	±38%	-
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	<0,8	±23%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis final: unidad experimental 1.

	<p style="text-align: center;">CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p style="text-align: center;">DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p style="text-align: center;">Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>	 <p style="text-align: center;">Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p style="text-align: center;">Acreditación N° OAE LE 2C 05-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
---	---	--

INFORME DE ENSAYO No:	S-91-17
ST:	025- 17 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario:	GAD DEL CANTÓN PENIPE
Atm.	Fredy Rosales Arévalo
Dirección:	Abdón Calderón y Antonio Ante Penipe - Chimborazo
FECHA:	28 de Abril del 2017
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2017/04/18 - 11:20
FECHA DE MUESTREO:	2017/04/18 - 10:15
FECHA DE ANÁLISIS:	2017/04/18 - 2017/04/28
TIPO DE MUESTRA:	Suelo
CÓDIGO CESTTA:	LAB-S-91-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	Lodo
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Cantón Penipe
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Fredy Rosales
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
*Humedad	PEE/CESTTA/80 ASTM D4959	%	35,13	-	-
Materia Orgánica	PEE/CESTTA/195 Método de referencia NEN 5754.2005	%	8,49	±5%	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	7,75	±0,4	6-8
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	1,03	±23%	0,5
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	20,92	± 38%	19

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permisibles permitidos indicados en la Tabla 1: Criterios de calidad del suelo. TTULSMA. Anexo II. Solicitados por el cliente.

RESPONSABLE DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Álvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis final: unidad experimental 2.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 20 08-008 LABORATORIO DE ENSAYOS
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: S-92-17
ST: 025- 17 - ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario: GAD MUNICIPAL DE PENIPE
Atm: Fredy Rosales Arévalo
Dirección: Abdón Calderón y Antonio Ante
 Penipe - Chimborazo

FECHA: 28 de Abril del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/04/18 - 11:20
FECHA DE MUESTREO: 2017/04/18 - 10:16
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/04/18 - 2017/04/28
TIPO DE MUESTRA: Suelo
CÓDIGO CESTTA: LAB-S-92-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: Lodo + Brassica
PUNTO DE MUESTREO: Escuela - Cantón Penipe
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico - Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Ma. Belén Villavicencio
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:25.0 °C - T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (#)
*Humedad	PEE/LABCESTTA/80 ASTM D4959	%	35,04	-	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	7,26	±0,4	-
Materia Orgánica	PEE/LABCESTTA/195 Método de referencia NEN 5754.2005	%	9,38	±5%	-
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	<20	±38%	-
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	<0,8	±23%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:


 Dr. Aparicio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis final: unidad experimental 3.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (05) 3013183	 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 20 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO No:	S-93-17
ST:	025- 17 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario:	GAD MUNICIPAL DE PENIPE
Atm.	Fredy Rosales Arévalo
Dirección:	Abdón Calderón y Antonio Ante Penipe - Chimborazo
FECHA:	28 de Abril del 2017
NÚMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2017/04/18 - 11:20
FECHA DE MUESTREO:	2017/04/18 - 10:17
FECHA DE ANÁLISIS:	2017/04/18 - 2017/04/28
TIPO DE MUESTRA:	Suelo
CÓDIGO CESTTA:	LAB-S-93-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	Suelo fértil + Lodo + Brassica
PUNTO DE MUESTREO:	Escuela Cantón Penipe
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico - Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Ma. Belén Villavicencio
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (M)
*Humedad	PEE/LABCESTTA/80 ASTM D4959	%	30,61	-	-
Potencial de Hidrógeno	PEE/CESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	7,32	±0,4	-
Materia Orgánica	PEE/LABCESTTA/195 Método de referencia NEN 5754:2005	%	12,17	±5%	-
Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	<20	±38%	-
Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	<0.8	±23%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.

RESPONSABLE DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



Anexo C: Análisis de absorción de plomo y cadmio en el tejido vegetal de *Brassica rapa* subsp. *oleífera* en las unidades experimentales (UE2 y UE3).

Análisis del tejido vegetal: unidad experimental 2



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBANSA - ECUADOR
Teléfono: (05) 3013183

INFORME DE ENSAYO N°:
ST:

TV- 11-17
004- 17 ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

Nombre Peticionario:
Atm.
Dirección:

GAD MUNICIPAL DE PENIPE
Freddy Rasales Arévalo
Centro de Penipe
Penipe - Chimborazo

FECHA:
NUMERO DE MUESTRAS:
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:
FECHA DE MUESTREO:
FECHA DE ANÁLISIS:
TIPO DE MUESTRA:
CÓDIGO CESTTA:
CÓDIGO DE LA EMPRESA:
PUNTO DE MUESTREO:
ANÁLISIS SOLICITADO:
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES:

28 de Abril del 2017
1
2017/04/18 - 11:15
2017/04/18 - 10:00
2017/04/18 - 2017/04/28
Tejido Vegetal
LAB-TV 11-17
Brassica + Iodo
Penipe
Químico
Ma. Belén Villavicencio
T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cadmio	Absorción Atómica	mg/kg	0,53	-
Plomo	Absorción Atómica	mg/kg	1,29	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recibida en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvaréz
RESPONSABLE TÉCNICO



Análisis del tejido vegetal: unidad experimental 3.



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO

Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCHI (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Teléfono: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No:
ST:

TV- 12-17
004- 17 ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL.

Nombre Peticionario:
Atm.
Dirección:

GAD MUNICIPAL DE PENIPE
Fredy Rosales Arvalo
Centro de Penipe
Penipe - Chimborazo

FECHA:
NUMERO DE MUESTRAS:
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:
FECHA DE MUESTREO:
FECHA DE ANÁLISIS:
TIPO DE MUESTRA:
CÓDIGO CESTTA:
CÓDIGO DE LA EMPRESA:
PUNTO DE MUESTREO:
ANÁLISIS SOLICITADO:
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES:

28 de Abril del 2017
1
2017/04/18 - 11:15
2017/04/18 - 10:00
2017/04/18 - 2017/04/28
Tejido Vegetal
LAB-TV 12-17
Brassica + lodo+ suelo fértil
Penipe
Químico
Ma. Belén Villavicencio
T máx.:25.0 °C. T mín.: 13.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (M)
Cadmio	Absorción Atómica	mg/kg	0,27	-
Plomo	Absorción Atómica	mg/kg	0,56	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recibida en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


D. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO
 CENTRO DE SERVICIOS
TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA AMBIENTAL

Anexo D: Fotografías de la evaluación de la eficiencia de *Brassica rapa* subsp. *oleifera* (nabo silvestre) en la reducción de plomo y cadmio en los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas del cantón Penipe.

Muestreo del lodo residual en la planta de tratamiento de aguas de la cabecera cantonal de Penipe- Chimborazo.



Preparación de las celdas experimentales.



Vivero de germinación de la especie *Brassica rapa* subsp. *oleífera*.



Muestra de *Brassica rapa* subsp *oleífera*

