



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

“EFICACIA DE ACUMULACIÓN DE LA ORTIGA (URTICA URENS) PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO EN LA PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO, 2018”

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
TELLO FELIX HARVEY ADOLFO**

**DOCENTE ASESOR
Ing. WILDE AGUILAR ROBLES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**ICA – PERÚ
2019**

DEDICATORIA

A mi madre Fabiola

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad., gracias a mi universidad por permitirme convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación profesional , gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión. Pero, sobre todo, gracias a mi madre, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo.

A todos, muchas gracias.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE IMAGEN	viii
ÍNDICE DE TABLA	ix
ÍNDICE DE FIGURA	x
ÍNDICE DE GRÁFICO	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. Descripción de la realidad problemática	16
1.1.1. Caracterización del problema	16
1.2. Formulación del problema	21
1.2.1. Problema general	21
1.2.2. Problemas específicos	21
1.3. Objetivo de la investigación	21
1.3.1. Objetivo general	21
1.3.2. Objetivos específicos	21
1.4. Justificación de la investigación	22
1.5. Importancia de la investigación	22
1.6. Limitaciones de la Investigación	23

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.1. Antecedentes de la Investigación	24
2.2. Marco legal	30
2.2.1. Normativa Ambiental	30
2.2.2. Guía para muestras de suelo D.S. N° 002-2013-MINAM	30
2.2.3. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo D.S. N° 002-2013-MINAM	30
2.3. Marco conceptual	32
2.3.1. Capacidad	32
2.3.2. Acumulación	32
2.3.3. Plomo	32
2.3.4. La fitorremediación	33
2.3.5. Ortiga (<i>Urtica urens</i>)	33
2.3.6. Parámetros físico químicos del suelo	33
2.3.7. Conductividad eléctrica (CE)	34
2.3.8. pH	34
2.3.9. Temperatura	34
2.4. Marco teórico	35
2.4.1. Movilización natural de los metales	36
2.4.2. Los metales en el suelo	37
2.4.3. Dinámica de los metales en el suelo	38
2.4.4. Biodisponibilidad de los metales	42
2.4.5. Factores del suelo que afectan la acumulación	44
2.4.6. Biorremediación de suelos	48
2.4.7. Fitoextracción para remediación de suelos	49
2.5. Bases Teóricas	54
2.5.1. Plantas en ambientes contaminados por metales	54
2.5.2. Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados	55
2.5.3. Absorción y transporte de metales en las plantas	56
2.5.4. Base genética a la tolerancia	59
2.5.5. Especificidad de la tolerancia a los metales	60
2.5.6. Estrategias de tolerancia hacia los metales pesados	62
2.5.7. Mecanismos celulares de tolerancia	64

2.5.8. Valoración e índices de tolerancia a los metales	68	64
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		67
3.1. Tipo y nivel de la Investigación		67
3.1.1. Tipo de Investigación		67
3.1.2. Nivel de Investigación		67
3.2. Método de la Investigación		68
3.3. Diseño de investigación		68
3.4. Hipótesis de la investigación		68
3.4.1. Hipótesis general		68
3.4.2. Hipótesis específicas		69
3.5. Variables de la Investigación		69
3.5.1. Variable Independiente		69
3.5.2. Variable Dependiente		69
3.6. Operacionalización de Variables		70
3.7. Cobertura del estudio de la investigación		72
3.7.1. Población		72
3.7.2. Muestra		72
3.8. Técnicas, instrumentos y fuentes de recolección de datos		74
3.8.1. Técnica de Recolección de Datos		74
3.8.2. Procedimientos a seguir en la investigación		75
3.8.3. Análisis de muestra		77
3.9. Metodología de la Investigación		77
3.10. Aspectos éticos		78
CAPÍTULO IV: ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		79
4.1. Análisis de Suelo		79
4.2. Análisis de pH		80
4.3. Conductividad eléctrica (CE)		81
4.4. Temperatura (°C)		82
4.5. Análisis de plomo en hojas		83

4.6.	Análisis de plomo en raíces	84
4.7.	Cantidad de hojas	85
4.8.	Tamaño de la ortiga	86
4.9.	Porcentaje de eficiencia	87
4.10.	Perdida de plomo	88
4.11.	Discusión	88
CONCLUSIONES		91
RECOMENDACIONES		93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		94
ANEXOS		102

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN N° 1	ALMACENES DE PLOMO EN EL CALLAO	20
IMAGEN N° 2	POBLACIÓN CERCANA A LOS ALMACENES	20
IMAGEN N° 3	ÁREA AFECTADA POR METALES PESADOS	72
IMAGEN N° 4	PUNTOS DE MUESTREO	73
IMAGEN N° 5	TÉCNICA DEL CUARTEO	76

ÍNDICE DE TABLA

TABLA N° 1	NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR PLOMO Y NIVELES DE PLOMO EN LA SANGRE DE LOS NIÑOS DE LIMA Y CALLAO	19
TABLA N° 2	ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUELO (ECA)	31
TABLA N°3	FORMAS QUÍMICAS DE LOS METALES EN EL SUELO Y SU DISPONIBILIDAD RELATIVA PARA LAS PLANTAS	44
TABLA N° 4	PLANTAS ACUMULADORAS DE METALES	53
TABLA N° 5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	70
TABLA N° 6	COORDENADAS DE LOS 05 PUNTOS DE MUESTREO	73
TABLA N° 7	TEMPERATURA REGISTRADA POR SEMANAS DURANTE LOS MESES DE ABRIL- MAYO-JUNIO	82
TABLA N° 8	PLOMO INICIAL Y FINAL EN EL SUELO	87
TABLA N° 9	PÉRDIDA DE PLOMO INICIAL Y FINAL EN EL SUELO	88

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 1	MOVILIZACIÓN NATURAL DE METALES POR ACCIÓN DEL VIENTO	36
FIGURA Nº 2	LIBERACIÓN DE METALES Y SULFATOS AL MEDIO EDÁFICO	38
FIGURA Nº 3	FACTORES QUE AFECTAN A LA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN EL SUELO	39
FIGURA Nº 4	DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA	40
FIGURA Nº 5	COMPARTIMENTALIZACIÓN DE LOS METALES EN EL SUELO	42
FIGURA Nº 6	LOS DISTINTOS PROCESOS DE ACUMULACIÓN	51
FIGURA Nº 7	CAPTACIÓN DE METALES POR FITOEXTRACCIÓN	52
FIGURA Nº 8	ESTRUCTURA DE LA RAÍZ VEGETAL- VÍAS DE ABSORCIÓN	58

ÍNDICE DE GRÁFICO

GRÁFICO N° 1	CONCENTRACIONES DE PLOMO EN EL SUELO	79
GRÁFICO N° 2	PH EN EL SUELO	80
GRÁFICO N° 3	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	81
GRÁFICO N° 4	PLOMO EN HOJAS	83
GRÁFICO N° 5	PLOMO EN RAÍCES	84
GRÁFICO N° 6	CANTIDAD DE HOJAS	85
GRÁFICO N° 7	TAMAÑO DE LA PLANTA	86

ANEXOS

ANEXO 1	FICHA DE OBSERVACIÓN	103
ANEXO 2	MATRIZ DE CONSISTENCIA	105
ANEXO 3	ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUELO SEGÚN CANADIAN SOIL QUALITY GUIDELINES	109
ANEXO 4	FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN	110
	FOTO N° 1 CALICATA PARA RECOLECTAR LA MUESTRA	110
	FOTO N° 2 LIMPIEZA DE LA MUESTRA	110
	FOTO N° 3 09 MUESTRAS FUERON TRANSPLANTADAS	111
	FOTO N°4 SE UTILIZARAN 05 ALEATORIAMENTE PARA LA INVESTIGACIÓN	111
	FOTO N° 5 ORTIGA EN EL PROCESO DE ADAPTACIÓN	112
	FOTO N° 6 MONITOREO DE CRECIMIENTO DE LA ORTIGA	112
	FOTO N° 7 CONTEO DE HOJAS DE R5	113
	FOTO N° 8 CRECIMIENTO DE OTRAS ORTIGAS	113
	FOTO N° 9 MUESTRAS FINALES	114
	FOTO N° 10 MEDICIÓN DE LA RAÍZ	114
	FOTO N° 11 MEDICIÓN DE TAMAÑO FINAL DE LA ORTIGA	115

RESUMEN

En la presente investigación se busca ver si la ortiga posee la capacidad de acumular plomo en sus tejidos, la muestra que se utilizó fue parte del suelo contaminado en la Provincia Constitucional del Callao, teniendo como objetivo principal determinar la eficacia de acumulación de la ortiga (*urtica urens*) para la fitorremediación de suelos contaminados por plomo, siendo este de un periodo de 02 meses, en el cual se observó la acumulación de plomo en hojas y raíces de la ortiga.

Esta investigación fue realizada ex situ con un diseño experimental, con 05 repeticiones, realizando los análisis antes y después del tratamiento, donde los resultados que se obtuvieron fueron que la ortiga logro acumular en sus hojas 80,09 mg/kg y en sus raíces 26,29 mg/kg, siendo la concentración inicial de 1399.39 mg/kg y la concentración final de 1161,55 mg/kg, llegando a una disminución de 237,83 mg/kg de plomo.

Palabras claves: Fitorremediación, extracción, concentración, capacidad.

ABSTRACT

In the present investigation we seek to see if the nettle possesses the capacity to accumulate lead in its tissues, the sample that was used was part of the contaminated soil in The Constitutional Province of Callao, having as main objective to determine the efficiency of accumulation of the nettle (*urtica urens*) for the phytoremediation of soils contaminated by lead, this being a period of 02 months, in which the accumulation of lead in leaves and roots of the nettle was observed.

This investigation was carried out *ex situ* with an experimental design, with 05 repetitions, performing the analyzes before and after the treatment, where the results obtained were that the nettle managed to accumulate in its leaves 80,09 mg / kg and in its roots 26,29 mg / kg, with the initial concentration of 1399.39 mg / kg and the final concentration of 1161.55 mg / kg, reaching a decrease of 237.83 mg / kg of lead.

Keywords: Phytoremediation, extraction, concentration, capacity.

INTRODUCCIÓN

La Provincia Constitucional del Callao es uno de las ciudades más contaminadas, esta contaminación ha afectado enormemente a todos los pobladores en su salud, asimismo esto también ha afectado a los suelos donde viven, ya que al realizar el análisis de plomo del suelo, este nos dio como resultado que tiene 1399.39 mg/kg sobrepasando los Estándares de Calidad Ambiental de suelo.

Esta investigación se realizó para comprobar si la ortiga (*urtica urens*) tiene la capacidad de acumular plomo en sus tejidos, asimismo si esta especie es capaz de crecer en el suelo contaminado por metales en este caso por plomo, por otro lado se puede demostrar que el uso de este procedimiento alternativo puede ayudar a mitigar, reducir hasta eliminar los contaminantes.

Se tomaron en cuenta antecedentes de otras investigaciones para poder revisar con otras investigaciones, comparar sus resultados, asimismo poder analizar que planta utilizaron y cuanto fue lo que acumulo dicha planta, asimismo que metodología utilizaron, la experimentación y sus variaciones en el suelo según la especie que utilizaron durante la investigación.

Esta investigación servirá como referente a otras investigaciones que también estudien la carrera de Ingeniería Ambiental. Esta tesis contiene en sus capítulos el planteamiento del problema, fundamentos teóricos de la investigación, metodología de la investigación y resultados. Además en sus capítulos se describe los resultados del proceso de experimentación tanto iniciales como finales y seguidamente de la discusión, conclusión y recomendaciones.

EL AUTOR

CAPÍTULO I

PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

Lima es una de las ciudades que se ve amenazada por la alta contaminación que generan los sistemas de producción, comercio y viviendas. La industria pesada y liviana de los extremos de la ciudad de Lima y del Callao ha quedado rodeada de viviendas como producto de la ocupación informal y desordenada del territorio.

La explotación minera de la zona central del país requiere del puerto del Callao para, a través de él, exportar sus productos por vía marítima. Los concentrados de minerales llegan a los almacenes de la provincia en su mayor

cantidad mediante camiones y, en menor cantidad, por ferrocarril. Los minerales son recibidos, pesados y almacenados en rumas a la intemperie por un promedio de 20 a 45 días para ser cargados, despachados y transportados al Muelle N° 5 del Terminal Marítimo del Callao donde son depositados en una loza para ser ingresados a los barcos mediante cargadores frontales y fajas transportadoras portátiles.

Las empresas almaceneras de concentrados minerales almacenan cobre, zinc, plomo y cadmio, y estas se han constituido en un contaminador potencial para toda la población aledaña. Alrededor de los almacenes se ubican escuelas, mercados, terrenos de cultivo, y se realiza la venta de alimentos calientes, frutas, helados, refrescos que se expenden de manera ambulatoria.

Los vientos cumplen una acción activa en el traslado de partículas de mineral en amplias áreas de influencia dependiendo la cantidad del tamaño de las partículas y la velocidad del viento, presentando valores cuantificables en el caso particular del plomo, en la actualidad no existe sistema de limpieza efectiva de los camiones al término de su operación.

La ubicación de los depósitos, el reducido tamaño de los almacenes y la inaccesibilidad del ferrocarril a la mayoría de ellos contribuyen diariamente a la congestión de las vías de acceso a los almacenes así como las que conducen al puerto, daños a las pistas por el tránsito pesado, la rotura de veredas y generación de polvo, El estacionamiento frente a las viviendas, ha permitido que el material particulado llegue al interior de las casas aledañas. Este problema se agudiza por

los vehículos de carga de mineral que pernoctan en áreas cercanas a las viviendas sin haber sido limpiados.

Los estudios existentes han referido que la presencia del plomo en sangre en las poblaciones aledañas a los almacenes de concentrado mineral, tiene procedencia específica de mineral de plomo, siendo los valores encontrados bastante altos.

TABLA N° 1: NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR PLOMO Y NIVELES DE PLOMO EN LA SANGRE DE LOS NIÑOS DE LIMA Y CALLAO

DISTRITO	N° DE NIÑOS CONTAMINADOS	PROMEDIO (meg/dl)	NIÑOS CON MAS DE 10 (meg/dl)	NIÑOS CON MAS DE 20 (meg/dl)
CALLAO	354	23.3	76.8%	50.80%
CERCADO LIMA	523	7.3	21.00%	1.10%
COMAS	341	7.7	17.00%	1.40%
LA MOLINA	219	6-0	7.00%	-----
LINCE	282	7.6	17.00%	1.00%
PUEBLO LIBRE	206	6.6	14.00%	3.90%

Fuente: DIGESA

IMAGEN N° 1: ALMACENES DE PLOMO EN EL CALLAO



Fuente: Municipalidad del Callao, 2018

IMAGEN N° 2: POBLACIÓN CERCANA A LOS ALMACENES



Fuente: Municipalidad del Callao, 2018

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficiencia de acumulación de la ortiga (*urtica urens*) para la Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

PE1 ¿En qué varían las características morfológicas de la ortiga (*urtica urens*) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018?

PE2 ¿Cuál es la extracción de plomo de las hojas y raíces de la ortiga (*urtica urens*) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018?

1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficiencia de acumulación de la ortiga (*urtica urens*) para la fitorremediación de los suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018?

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1 Describir la variación de las características morfológicas de la ortiga (*urtica urens*) después de la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018.

OE2 Evaluar la extracción de plomo en hojas y raíces de la ortiga (*urtica urens*) después de la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación pretende dar a conocer cuál es la eficiencia de la ortiga para remediar un suelo con plomo, a través de ello poder lograr la recuperación y/o minimización de los impactos del plomo en el suelo, ya que la fitorremediación es una alternativa ecológica de mejora de los ecosistemas, que tiene un costo bajo y generara beneficios para la población de la Provincia Constitucional del Callao.

Asimismo dicha investigación se realiza con la finalidad de aportar conocimiento tanto a la población de la Provincia Constitucional del Callao como a los profesionales dedicados al cuidado del medio ambiente de poder recomendar a esta especie (*urtica urens*) como una planta fitorremediadora de un suelo con presencia de plomo y que así esta misma puede acumular el contaminante y mitigar los problemas ambientales que aquejan a la ciudad en el que los pobladores son los principales afectados.

1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio es importante por la necesidad de recuperar los suelos contaminados por plomo, además proteger al medio ambiente y a la salud humana de los efectos nocivos de la contaminación generados por estos suelos que contienen metales tóxicos, por ello se considera imprescindible determinar la eficacia de las especies fitorremediadoras de metales como medida correctiva ya que los metales tóxicos son captados en forma selectiva por las raíces y pasan a formar parte de los tallos y hojas de las plantas. Por otro

lado, la fitorremediación tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados; en primer lugar es una técnica de bajo costo, en segundo lugar posee un impacto regenerativo en los lugares donde se aplica y en tercer lugar su capacidad extractiva selectiva se mantiene debido al crecimiento vegetal, existiendo diversidad y abundancia de plantas tolerantes a metales.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones están dadas por el nivel de disponibilidad de recursos financieros, materiales y humanos, para realizar el proceso de fitorremediación de los suelos y el nivel de apoyo de la empresa privada.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Bonilla, V. (2013) en su trabajo de investigación titulada “*Estudio para tratamientos de Biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*” para obtener el título de ingeniería ambiental; se planteó como objetivo evaluar la capacidad de tres especies vegetales Amaranto, Acelga y Alfalfa para absorción de plomo en suelos contaminados, utilizando la técnica de fitorremediación, utilizando un diseño experimental con 3 repeticiones y con ello obtuvo como resultado que las especies *Medicago sativa* (alfalfa), *Amaranthus hybridus* (amaranto) y *Beta vulgaris* (acelga) presentan la capacidad de acumular plomo en sus tejidos, al estar expuesta en suelos contaminados con este metal. La mayor acumulación respecto al amaranto se dio en la muestra R°3 con un 42,92%, en la utilización de alfalfa la acumulación se dio en la

muestra R° 2 con un 50,76% y en la utilización de Acelga la mayor acumulación se dio en la muestra R°2 con un 57,55%. Así mismo para su disposición final estas especies vegetales se pueden recolectar y aislar, impidiendo así que el plomo se encuentre expuesto a los factores ambientales como precipitaciones y viento.

Ortiz, C. (2009) en su artículo científico titulado “*Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (Amaranthus hybridus L.) y micorrizas*” se planteó como propósito determinar la capacidad extractora de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) del quelite (*Amaranthus hybridus*) al añadir una combinación de micorrizas arbusculares al sustrato contaminado con Pb o Cd, utilizando un diseño experimental y con ello obtuvo como resultado indicar que la presencia de micorrizas aumentó significativamente la acumulación de Cd y Pb en hoja, tallo y raíz de quelite. Las acumulaciones de estos metales pesados aumentaron preponderadamente acorde a la edad de la planta. Asimismo concluyo que la edad de la planta es una causa sobresaliente que se debe tener en cuenta durante el tratamiento de extracción de cadmio y plomo del suelo en el momento que se utiliza *A. hybridus* en combinación con micorrizas.

Sierra, V. (2006) en su trabajo de investigación titulada “*Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial*” para obtener el grado de Ingeniero Agrícola y Ambiental; se planteó como objetivo determinar la capacidad del *Rye grass* en la remediación de un suelo con altas concentraciones de plomo, debido a los efectos que ocasionaron las industrias, con tratamiento ex situ, usando como área el Departamento de Ciencias del Suelo del Campus principal de la Universidad Autónoma Agraria; y con ello obtuvo como resultado que el pasto *Rye Grass* sirve para acumular plomo de un suelo contaminado a altas concentraciones por este metal, siendo acumulado

la mayor concentración en raíces, afectaron considerablemente el desarrollo de la planta, sin embargo a pesar de esto se obtuvo una acumulación considerable de plomo. Después del tratamiento se comparó el suelo inicial con el final, este proceso disminuyó el contenido de plomo, debiéndose a la lixiviación y absorción del plomo. Las concentraciones de Pb al final del tratamiento, exceden los límites máximos permisibles para suelos contaminados, por lo que se debe remediar por mucho más tiempo.

Jara, P. (2014) en su artículo científico titulado “*Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados*” para la Revista Peruana de Biología; se planteó como objetivo evaluar cuatro plantas de los andes para conocer sus capacidades fitorremediadoras estas fueron: *Solanum nitidum*, *Lupinus ballianus*, *Fuertesimalva echinata* y *Brassica rapa*, en suelos con altas concentraciones de cadmio, plomo y zinc, utilizando un diseño experimental, con tratamiento in situ, usando como área el invernadero de lachaqui de la provincia de Canta y con ello obtuvo como resultado que esta clase de plantas altoandinas estudiadas tienen la habilidad de acumular estos metales pesados en las raíces. Arrojo que la especie *Fuertesimalva echinata* acumuló 854.5 mg/kg de plomo, en la especie *L.ballianus* acumuló 992.8 mg/kg, *S. nitidum* acumuló 576 mg/kg y *Brassica rapa* acumuló 758.8 mg/kg de plomo. Por lo que se considera también que al ser realizado in situ, con plantas oriundas del lugar, estas logran adaptarse más y da resultados más óptimos.

Paiva, G. (2015) en su trabajo de investigación titulada “*Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando amaranthus spinosus amaranthaceae en Cusco del 2012*” para obtener el grado de Doctor en Ciencias Ambientales; se planteó como objetivo evaluar la capacidad de acumulación del *amaranthus spinosus* para fitorremediar suelos

con altas concentraciones de plomo del relleno sanitario de kehuar Anta utilizando el tipo de planta *Amaranthus spinosus*, con un diseño experimental y con ello obtuvo como resultado que la acumulación de metales pesados por esta especie *Amaranthus spinosus* se alcanzó con más intensidad en las raíces con 600 mg/Kg de suelo. Por lo que se concluyó que esta especie *Amaranthus spinosus* revelo una acumulación progresiva de este metal en sus diversas partes, Por lo que no mostro ningún efecto negativo en la planta y su desarrollo en el tamaño se dio con normalidad.

Callirgos, R. (2014) en su trabajo de investigación titulada “*Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie Chrysopogon zizanioides en relaves mineros*” para obtener el grado de título profesional de Ingeniería Ambiental; en donde se planteó como objetivo determinar la capacidad de acumulación de la planta *Chrysopogon zizanioides* en relaves mineros, siendo esta una opción económica, sencilla e inherente para mejorar suelos con altas concentraciones de metales, utilizando un diseño experimental, en periodo de 90 días con 09 muestras, con tratamiento in situ, para observar la movilización de los metales Cr, Cu Cd, Fe y Pb, utilizando baldes aproximadamente de 5 kg en donde se colocó las muestras de relave, llegando a la conclusión de que el *Chrysopogon zizanioides* posee la capacidad de fitorremediación ya que logro reducir el plomo de 1577mg/kg hasta 1190 mg/kg, un 24% de la concentración inicial de plomo, concentrándose más en las hojas que en la raíces. Asimismo en el sustrato, los valores de Conductividad Eléctrica y de pH aumentaron, esto quiere decir que ayudo en la disposición de cationes metálicos en la solución suelo, aumento el movimiento del Cobre, Hierro y Plomo. Normalmente el *Chrysopogon zizanioides* acumula más concentraciones de Cr, Pb, Cd y Cu en hojas comparándolo con las raíces

por lo que se le considera una planta fitorremediadora con la capacidad de acumular plomo.

Guerrero, P. (2014) en su artículo científico titulado “Bioacumulación de plomo y cadmio en *brassica oleracea subsp. (Col silvestre) Capitata Metzg* (arbusto) y *raphanus sativus* (rábano)” en donde se planteó como objetivo determinar la concentración de plomo y cadmio por bioacumulación en *Brassica oleracea subsp. capitata Metzg* y *Raphanus sativas L.*, con diseño experimental, para ello se trabajó con 20 plantas de *B. oleracea subsp. capitata Metzg.* y *R. sativus L.*, con 14 días de desarrollo vegetativo, trasplantadas aleatoriamente y de forma individual en pozas experimentales con suelo homogenizado franco arenoso libre de metales plomo y cadmio, con tratamiento in situ, con 4 repeticiones durante 60 días, llegando a la conclusión de que la col silvestre, el arbusto y el rábano si son especies que poseen la capacidad de acumular plomo y cadmio, siendo este almacenado más en la parte aérea de las especies, siendo el plomo inicial de 300 mg/kg disminuyendo a 127 mg/kg, presentando la mayor concentración de plomo en sus hojas el col silvestre con 112 mg/kg.

Enríquez P. (2012) en su trabajo de investigación titulada “Situación actual de metales pesados bajo cultivos de agricultura orgánica” para optar el título de Ingeniero en Ciencias Ambientales, en donde se planteó como objetivo de determinar la capacidad del Rye grass en la remediación de un suelos con altas concentraciones de metales, debido a la acción industrial, con un diseño experimental, para realizarlo se utilizaron 15 macetas, con 900g de suelo cada una, la macetas fueron agregadas un plato de poliuretano en la parte inferior, para evitar la lixiviación del Pb. Se aplicaron 100g de estiércol, lombricomposta, perlita, peat most, la siembra se realizó depositando 1.5g de semilla de pasto Rye Grass por

maceta, el tratamiento se realizó ex situ, llevándose a cabo en la zona experimental del Departamento de suelos de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de Venecia Durango, realizándolo en un periodo de 06 meses, llegando a la conclusión de que el pasto Rye Grass sirve para acumular plomo de un suelo contaminado a altas concentraciones por este metal, asimismo se determinó que el Pb, bajo las condiciones experimentales descritas, afectaron considerablemente el desarrollo de la planta registrándose el efecto significativamente en el desarrollo de la planta, sin embargo a pesar de esto se obtuvo una acumulación considerable de 2438 mg/kg en raíces, teniendo el rye grass la capacidad de acumular plomo.

Mendoza M. (2014) En su trabajo de investigación titulado “Acumulación de metales pesados en *beta vulgaris l. Y lolium perenne l.* de suelos de Cuemanco” para optar por el título de Bióloga, en donde se planteó como objetivo evaluar la capacidad acumuladora de metales pesados, de *Beta vulgaris L* y *Lolium perenne L.* provenientes de suelos contaminados de Cuemanco, con un diseño experimental, se seleccionarán parcelas abandonadas para la recolecta del suelo, esta investigación será con tratamiento ex situ, con 10 muestras durante 16 semanas de experimentación, concluyendo que ambas especies son acumuladoras para Plomo, Cromo, Cadmio, Níquel, Cobre e hiperacumuladoras de Zinc. También se observó una disminución en la concentración de metales pesados después de la cosecha para ambos tratamientos. Finalmente se obtuvo que la mayor acumulación de Plomo fue en raíz de *Lolium perenne* (pasto) 467.5 mg/Kg) y *Beta vulgaris L* (acelga) en hojas con 681.66 mg/Kg, asimismo estas tienen la capacidad de absorber metales pesados, presentando un alto índice de supervivencia.

2.2. MARCO LEGAL

2.2.1. NORMATIVA AMBIENTAL

En el Perú, las normas y leyes medioambientales se basan en preservar, conservar, cuidar todos los aspectos que puedan alterar el medio ambiente, ya sea con el agua, con el suelo, con el aire, asimismo el Ministerio del Ambiente quien se encarga de identificar y controlar situaciones que se encuentran contaminados y necesitan una acción urgente. Es por ello que esta investigación trabajara bajo las normas que rige este ministerio. (MINAM, 2005, p. 25)

2.2.2. GUÍA PARA MUESTRAS DE SUELO D.S. N° 002-2013-MINAM

El objetivo de esta guía es principalmente para el muestreo de suelos es fundamentalmente poder analizar el suelo y ver cuál es el nivel de contaminación, cuáles han sido los factores que lo han contaminado, es un protocolo que nos indica cuales son los pasos a seguir para recoger dicha muestra, cual es la profundidad de la calicata, cuántos puntos se deben tener en cuenta dependiendo del área de estudio.

2.2.3. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO D.S N° 002-2013-MINAM

En nuestro país los estándares de calidad Ambiental, son indicadores que miden la concentración de diferentes químicos contaminantes que se encuentran en los suelos, asimismo si las emisiones superan el valor determinado por las ECAs se considera un peligro para el medio ambiente y la población, por ello la entidad a cargo (MINAM) determina las medidas correctivas para el caso.

TABLA N° 2: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUELO (ECA)

N°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial / Parques	Suelo Comercial / Industrial / Extrativos	
II	Inorgánicos				
15	Cianuro libre (mg/kg MS)	0.9	0.9	8	EPA 9013- AVAPHA- AWWA-WEF 4500 CN F
16	Arsénico total (mg/kg MS)	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
17	Bario total (mg/kg MS)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA3051
18	Cadmio total (mg(hg MS)	1.4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
19	Cromo VI (mg/kg MS)	0.4	0.4	1.4	DIN 19734
20	Mercurio total (mg/kg MS)	6.6	6.6	24	EPA 7471-B
21	Plomo total (mg(kg MS)	70	140	1200	EPA 3050-B EPA3051

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2013

Para verificar la calidad de suelo también se hará comparaciones con el Estándar de Calidad Ambiental para suelos de la Guía de Canadá. (Las mismas que se adjuntan en el anexo n° 3)

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. CAPACIDAD

Se define como: “La capacidad de alcanzar el efecto que espera o se desea tras la realización de una acción. (Delgadillo, 2011)

2.3.2. ACUMULACIÓN

Nos menciona que: “Cuando una planta es capaz de crecer en suelos con grandes concentraciones de metales pesados, concentraciones que resultan tóxicas incluso para especies cercanamente emparentadas a la misma. Estas plantas son consideradas capaces de acumular el metal del suelo a través de sus raíces que luego concentraran en sus tejidos” (Marrero C. 2012, p.53)

2.3.3. PLOMO

Se define como: “Un metal gris negro, que encontramos distribuido en la corteza terrestre y en diferentes materiales fabricados por el hombre. Ingerido o inhalado, el plomo es tóxico, al encontrarse en la sangre donde será acumulado en el organismo, especialmente a nivel de los tejidos blandos. Una contaminación por plomo provoca el saturnismo y provoca diferentes síntomas como trastornos digestivos, anemia, insuficiencia renal, encefalopatías, esterilidad. Su tasa en sangre se puede medir a través de la plumbemia” (OMS, 2016)

2.3.4. LA FITORREMEDIACIÓN

Se determina como: “Phyto = planta y remediación = mal por corregir, es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, acumular, destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. Los mecanismos de fitorremediación incluyen la rizodegradación, la fito- extracción, la fitodegradación y la fitoestabilización. Cuando las plantas han acumulado los contaminantes, pueden ser cosechadas y ser desechadas. La incineración controlada es el método más común para disponer las plantas que han absorbido cantidades grandes de contaminantes” (Agudelo, 2005, p.59)

2.3.5. ORTIGA (URTICA URENS)

Se define como: “El nombre científico de la ortiga *urtica urens*, clase: Magnoliopsida, Subclase: hamamelididae, su hábitat es en baldíos, basureros, junto a los caminos, tierras húmedas, la abrasiva ortiga es una hierba de lo más familiar y abundante, que prospera en todo tipo de suelos. Planta herbácea vivaz perenne de hasta un metro de altura, considerada una mala hierba, de cepa ramificada con tallo erguido y cuadrangular. Crece con poca luz solar, con temperaturas bajas, suelos húmedos, con pH de 5.5 a 8, puede multiplicarse a partir de una sola planta presente en cualquier suelo. (Huerta, 2007, p.132)

2.3.6. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO

Nos menciona que: “Son aquellas propiedades que definen las característica de un suelo ya sea pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad, materia

orgánica, color, textura y más, todos estos nos van a indicar la calidad de un suelo” (Borges, J. 2012. p. 123)

2.3.7. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Se define como: “La capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de sales solubles presentes en el suelo” (Romero, 2009, p.67)

2.3.8. PH

Se define como: “El que expresa la actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo. Este afecta la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas así como a muchos procesos del suelo. La escala de pH se utiliza como un indicador de la concentración de los iones hidrógeno en el suelo” (Sadheghian, 2016, p.2)

2.3.9. TEMPERATURA

La temperatura afecta al desarrollo de la planta, aunque el periodo sea el adecuado, no se inicia hasta que la temperatura sea la indicada. Además las semillas de determinadas especies no germinan, mientras que otras plantas no florecen si no han estado expuestas a temperaturas que requieren dichas especies. (Melgarejo L., 2010)

2.4. MARCO TEÓRICO

Oyarzun e Higuera, (2011) Diversas empresas que procesan los minerales para extraer otro producto durante su producción están generando contaminantes ya sean sólidos, líquidos y gaseosos, que de alguna manera pueden llegar al suelo y dañarlos. Esto ocurre porque puede ser depositado por acción de la atmósfera como partículas o trasladada por las precipitaciones, vientos. (p.6)

Mendoza, (2014) La acumulación de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas mediante las estomas y la cutícula de la epidermis. Este proceso ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que llevan los compuestos dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo. Se considera una planta acumuladora, cuando esta es capaz de sobrevivir a un suelo con alto nivel de metales, acumulando el metal en su estructura. Después de cruzar la membrana, los contaminantes son distribuidos a través de toda la planta, los contaminantes que se acumulan por las raíces, se trasladan hacia las hojas. (p.11)

Ferrera, (2006) Para la fitorremediación, las plantas tienen un papel muy importante ya que ellas tienen la capacidad de adaptación, supervivencia y acumulación tanto del contaminante como de los nutrientes del suelo, las mismas plantas liberan enzimas que oxidan a los contaminantes estimulándolos a que sean degradados, acumulados en la misma planta o eliminados del suelo que ha sido afectado por la actividad humana. (p.182)

Sánchez, (2005) Las plantas han sido desde siempre una herramienta de fácil uso, y de la cual se ha tenido diversos resultados favorables, ya que están acumulando el

contaminante a sus raíces o su parte área limpiando el suelo, mientras más tiempo permanezca la planta en dicho suelo mayor será el resultado de recuperación de suelo contaminado. (p.10)

Borges, (2012) Para que la planta en un suelo contaminado se desarrolle con normalidad, se debe tener en cuenta las condiciones edafológicas predominantes, la absorción de nutrientes dependerá de la humedad, pH, conductividad eléctrica, temperatura y otros parámetros importantes lo que garantizaran que este suelo contaminado sea un suelo fitorremediado en su totalidad. (p.123)

2.4.1. MOVILIZACIÓN NATURAL DE LOS METALES

La movilidad natural de los metales en los suelos es consecuencia de la actividad biológica, de las interacciones sólido-líquido y de la acción del agua. En el caso de los residuos procedentes de la actividad minera, la movilización natural de metales puede tener lugar por la acción del viento, las precipitaciones que arrastran a las partículas por escorrentía, por lavado descendente, solubilizándose y pudiendo alcanzar hasta la capa freática y así contaminar las aguas subterráneas, como se muestra en la siguiente figura 1.

FIGURA N° 1: MOVILIZACIÓN NATURAL DE METALES POR ACCIÓN DEL VIENTO



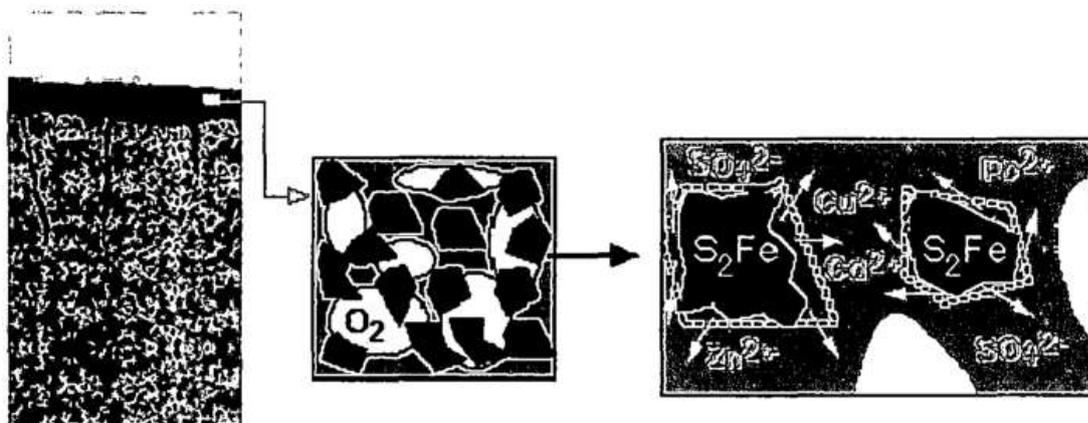
Fuente: García, I. y Dorronsoro, C. 2005

2.4.2. LOS METALES EN EL SUELO

El suelo es un componente esencial del medio ambiente, base de los ecosistemas terrestres, principio de muchas cadenas tróficas y soporte del medio urbano e industrial. Dentro de sus funciones actúa como tampón, controlando el transporte de elementos químicos y sustancias hacia la atmósfera, hidrosfera y biosfera (Kabata- Pendias y Pendias, 2000). Sin embargo, la función más importante del suelo es su productividad, base de supervivencia de los seres humanos. Por tanto, el mantenimiento de sus funciones ecológicas y agrícolas es una responsabilidad de toda la humanidad.

Los suelos interactúan químicamente con la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera y, sobretodo, recibe el impacto de los seres vivos que, directa o indirectamente, pueden romper su equilibrio químico. Los contaminantes pueden permanecer por largo tiempo en el suelo, lo cual es especialmente grave en el caso de los compuestos inorgánicos, como los metales pesados que son difícilmente degradables (Bech et al., 2001; Pilon-Smits, 2005). Mientras que, los compuestos orgánicos son más o menos biodegradables, excepto en algunos casos recalcitrantes (Dioxina), descomponiéndose y eliminándose hacia los freáticos o a la atmósfera en un tiempo no excesivamente largo (Bech et al., 2002).

FIGURA N° 2: LIBERACIÓN DE METALES Y SULFATOS AL MEDIO EDÁFICO



Fuente: Medina J y Hermitaño S. Impacto Ambiental en las operaciones mineras, 2004

2.4.3. DINÁMICA DE LOS METALES EN EL SUELO

Según García y Dorronsoro (2005), los metales incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así, incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasar a la atmósfera por volatilización.
- Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

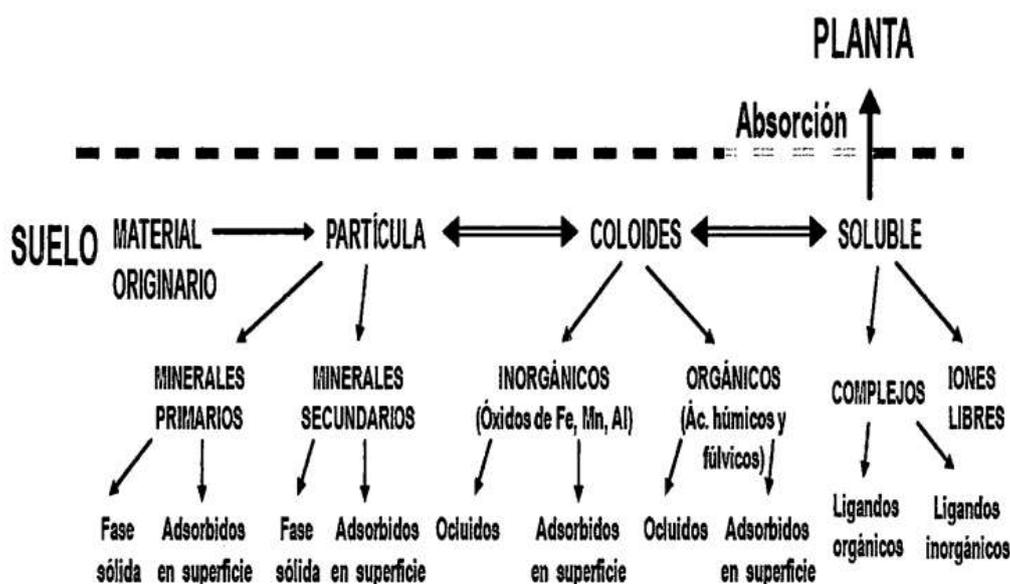
Cuando un contaminante se incorpora al suelo se desencadena una serie de procesos físicos, químicos o biológicos que condicionan los efectos que éste puede causar no sólo sobre el sistema suelo sino también sobre el resto de compartimentos ambientales, sobre la cadena trófica y la transferencia a las

plantas. Una vez incorporado el contaminante, éste puede verse influenciado por procesos tales como transformación, retención y transporte.

La importancia adquirida por la especiación, ha obligado al desarrollo de un número de técnicas de análisis químico o de modelizaciones termodinámicas.

El análisis químico da información sobre la forma en que se presenta un determinado elemento o especie: soluble en agua, cambiante, ligado a la materia orgánica, adsorbido, ocluido o nuevos términos como: lábil, no lábil, complejo estable, bioasimilable, etc. Las modelizaciones termodinámicas utilizan el equilibrio, los mecanismos de reacción y las constantes por las que se rigen, para calcular la actividad de las diferentes especies en las disoluciones.

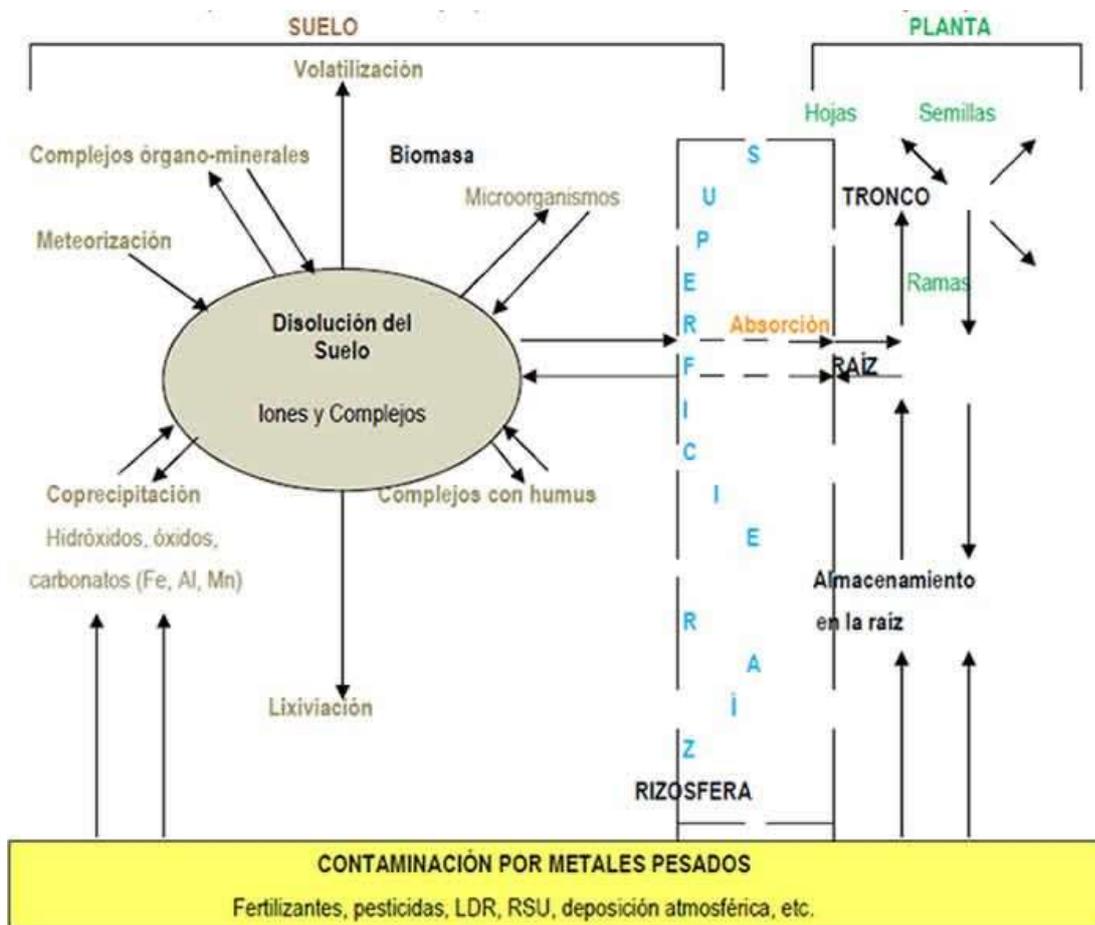
FIGURA N° 3: FACTORES QUE AFECTAN A LA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN EL SUELO



Fuente: Menguel y Kirkby; Mecanismos y Suelos. 2001

Los mecanismos más importantes para el control de contaminantes son: reacciones de precipitación-disolución, reacciones ácido base, reacciones oxidación-reducción, reacciones adsorción-desorción, reacciones de complejación y procesos metabólicos.

FIGURA N° 4: DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA



Fuente: Roca Fernández A. Centro de Investigaciones Agrarias, 2006

Los contaminantes pueden salir del suelo por: volatilización, bioasimilación, disueltos en el agua y erosión.

Los contaminantes se diluyen más o menos rápidamente en los ríos o en el aire. Sin embargo, en los suelos tienden a acumularse. Por esta razón, el suelo actúa como un sumidero de la mayor parte de los contaminantes, incluidos los metales. La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino también de las características del medio donde se encuentre de manera que la sensibilidad de los suelos a la agresión que tiene lugar por parte de los agentes contaminantes va a ser muy distinta dependiendo de una serie de características edáficas. Para determinar el grado de contaminación de un suelo se hace necesario considerar la biodisponibilidad, movilidad y persistencia (Calvo de Anta, 1997).

- Por biodisponibilidad se entiende la asimilación del contaminante por los organismos, y en consecuencia la posibilidad de causar algún efecto, negativo o positivo.
- La movilidad regulará la distribución del contaminante y por tanto su posible transporte a otros sistemas.
- La persistencia regulará el periodo de actividad de la sustancia y por tanto es otra medida de su peligrosidad.

López y Grau (2005), señalan que en el suelo los metales pueden estar en seis compartimentos principales:

- Dentro de las redes cristalinas de los minerales primarios (no alterados, heredados de la roca madre) y de constituyentes secundarios (minerales procedentes de la alteración edafogenética)

- Absorbidos en las fases de hidróxido de hierro, aluminio y manganeso.
- Secuestrados o ligados a los restos vegetales y animales (que son liberado a medida que se van mineralizando estos residuos).
- Incluidos en las macromoléculas orgánicas.
- En forma intercambiable (ión) asociados a la superficie de las arcillas minerales y a la materia orgánica.
- En forma soluble, coloide o particulada, en la solución del suelo.

FIGURA N° 5: COMPARTIMENTALIZACIÓN DE LOS METALES EN EL SUELO



Fuente: López y Grau. 2005

2.4.4. BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES

López y Grau (2005), definen el término biodisponibilidad como la capacidad de un elemento para pasar de un compartimento cualquiera del suelo a un ser vivo. Esta movilidad, que se define como la aptitud de transferencia de metales

entre compartimentos, está determinada por la forma, el número de cargas y la energía de retención de los metales pesados (Reid, 2001) y se ve influenciada por factores externos: pH, temperatura, humedad, ambiente químico. Aunque también se puede asociar con el uso del suelo, por ejemplo, los metales en suelos forestales son más fácilmente movilizados que en suelos agrícolas, lo que está directamente relacionado con mayor acidez del suelo y a la mayor presencia de sustancias orgánicas de bajo peso molecular (Kabata- Pendías y Pendías, 2000). La toxicidad de un suelo debido a los metales y elementos asociados es una consecuencia directa de sus concentraciones en las fases bioasimilables, es decir, la solución del suelo y las formas adsorbidas. Se supone que existe un equilibrio entre la fase soluble y la cantidad total presente. Lindsay (1979) calcula que el 10% del total se encuentra en fase soluble. Pero en esta correspondencia intervienen numerosos factores tanto del elemento tóxico en sí, como de las características del propio suelo. Por tanto, las formas geoquímicas de los metales pesados en suelos contaminados afecta la solubilidad, lo cual influencia directamente la disponibilidad hacia las plantas (Zhang et al., 1997). En definitiva, según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos.

**TABLA N° 3: FORMAS QUÍMICAS DE LOS METALES EN EL SUELO Y
SU DISPONIBILIDAD RELATIVA PARA LAS PLANTAS**

Formas de retención en el suelo	Disponibilidad relativa
Ión en la disolución del suelo.	Fácilmente disponible
Ión en complejo de intercambio orgánico o inorgánico.	Relativamente disponibles pues estos metales, por su pequeño tamaño y altas cargas, quedan fuertemente adsorbidos.
Metales complejados o quelatados por compuestos orgánicos.	Menos disponible.
Metal precipitado o coprecipitado.	Disponible sólo si ocurre una alteración química.
Incorporado en la matriz biológica.	Disponible después de la descomposición.
Metal en la estructura mineral.	Disponible después de la alteración mineral.

Fuente: Roca Femández A. Centro de Investigaciones Agrarias, INGACAL. 2006

2.4.5. FACTORES DEL SUELO QUE AFECTAN LA ACUMULACIÓN

Los principales factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales son:

- **pH**

El pH es uno de los parámetros más importante para definir la movilidad del catión (Wong, 2003). Esencialmente las fracciones más móviles de iones ocurren en los rangos menores de pH. Aunque la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido.

En medios alcalinos pueden pasar nuevamente a la solución como hidroxicomplejos (López y Grau, 2005). Pero en general, con un aumento del pH del suelo, la solubilidad de muchos metales pesados disminuye y la concentración de elementos traza es menor en la solución de suelos neutros y básicos que aquellos ligeramente ácidos (Kabata-Pendias y Pendias, 2000).

- **Condiciones redox**

El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido y del cambio directo en la valencia de ciertos metales. Generalmente, las condiciones redox afectan indirectamente la movilidad de los metales, siendo más solubles en medios reducidos.

- **Textura y estructura**

Tanto la estructura como la textura juegan un papel importante en la infiltración, adsorción y/o pérdida de los metales pesados en el suelo (Alloway, 1995).

Las arcillas pueden retener los metales pesados en las posiciones de cambio, impidiendo su paso a los niveles freáticos (López y Grau, 2005).

Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales y la reducción de su pérdida por lixiviación. Ese hecho es de vital importancia puesto que gracias

a este proceso de adsorción, los cationes están disponibles para la vegetación (Pilon-Smits, 2005).

- **Materia Orgánica**

La materia orgánica tiene una gran importancia en todos los procesos de adsorción del suelo.

Actúa como ligando en los complejos de intercambio, mediante la cesión de electrones de ciertas moléculas a cationes metálicos, que aceptan estos electrones, formando los quelatos que pueden migrar con facilidad a lo largo del perfil (Pilon-Smits, 2005). Por tanto, la complejación por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia, en gran medida, por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión Adriano, 1986.

El papel de los organismos del suelo es también muy importante en la estabilidad o degradación de los complejos organometálicos.

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), se define como la cantidad de cationes reversiblemente adsorbidos expresados como moles de carga positiva por unidad de peso del mineral (McBride, 1994) y está muy condicionada por la cantidad, tipo de arcilla y la materia orgánica. Cuanto

mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos (Brady y Weil, 2008).

- **Carbonatos**

La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, los cuales tienden a precipitar los metales pesados.

El cadmio y otros metales, presentan una marcada tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos (López y Grau, 2005).

- **Salinidad**

Aunque la presencia de salinidad, en general, incrementa el pH del suelo, su aumento puede favorecer la movilización de metales pesados por dos mecanismos. Primeramente los cationes asociados con las sales (Na⁺, K⁺) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como cadmio, zinc y mercurio.

La forma en la cual se encuentre el metal retenido en el suelo, condicionará la disponibilidad relativa por las plantas. Al ir transcurriendo el tiempo disminuye la disponibilidad de los metales, ya que se van fijando en las posiciones de adsorción más fuertes.

2.4.6. BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS

En las últimas tres décadas la comunidad científica ha desarrollado técnicas basadas en el potencial de organismos vivos, principalmente microorganismos y plantas para descontaminar el medio ambiente. Dentro de estas técnicas cabe destacar principalmente el uso de:

- **Micorrizas**

Las micorrizas, principalmente el tipo arbusculares, alivian el estrés causado por metales en las plantas potenciando su crecimiento.

La colonización de este tipo de micorrizas tiene un impacto significativo en la expresión de muchos genes de la planta, que codifican proteínas presumiblemente involucradas en la tolerancia y detoxificación de metales pesados. Sin embargo, muchas plantas hiperacumuladoras de metales pesados, pertenecen a la familia Brassicaceae que generalmente no son micorríticas.

- **Bacterias**

Las bacterias resistentes a los metales pueden aportar un mayor grado de resistencia a las plantas en suelos contaminados por metales pesados (Lelie Van de D, 1998). Además, los exudados de las bacterias en la rizósfera, juegan un papel muy importante en las interacciones planta-microorganismos y en la acumulación de metales pesados en las raíces de las plantas.

- **Hongos**

Los hongos pluricelulares han sido usados para la remediación de suelos contaminados y una variedad de otros sustratos y son, particularmente, efectivos en la degradación de contaminantes aromáticos, clorados o alifáticos (Thomas et al., 1999).

- **Plantas**

A pesar del carácter inhóspito de los suelos mineros, es raro encontrarlos totalmente desprovistos de vegetación. Algunas plantas tienen la capacidad de absorber metales pesados e incorporarlos en algunos órganos sin perjudicar la fisiología de la planta. Las plantas silvestres tienen una gran habilidad de supervivencia y pueden, además, desarrollar una gran cantidad de biomasa independiente de la relación con el clima y las condiciones del suelo (Tiustos et al., 2006).

2.4.7. FITOEXTRACCIÓN PARA REMEDIACIÓN DE SUELOS

La fitoextracción, también llamada fitoacumulación, emplea la capacidad de las plantas para absorber y extraer el contaminante del suelo, principalmente metales, y acumularlo en sus tallos y hojas. Las partes de las plantas donde se acumula el contaminante pueden ser extraídas y destruidas o recicladas, retirando el metal del suelo (Cunningham et al., 1995; Salt et al., 1998). Para considerar viable el proceso es importante que la acumulación del contaminante tenga lugar en la parte aérea de la planta, fácilmente cosechable, aunque algunos autores consideraron la extracción de las raíces como una opción también viable en algunos casos. Existen plantas que presentan una acumulación extrema de

metales en sus tejidos aéreos, que se conocen como plantas hiperacumuladoras (Brooks, 1998) y que son preferentemente utilizadas en este tipo de técnicas.

La rizofiltración se basa en que algunas plantas acuáticas, de humedales, algas, bacterias y hongos, resultan ser buenos biosorbentes de metales mediante su absorción a partir de aguas contaminadas a través de sus raíces (Ej. Typha, Phragmites). A principios de los 90, se abrieron nuevas perspectivas con el uso también de plantas terrestres que se habían desarrollado en cultivos hidropónicos y que permitía unos sistemas radiculares más extensos para "filtrar", adsorber y absorber metales desde medios acuáticos (Dushenkov et al., 1995). Las plantas jóvenes germinadas que se encuentran creciendo en cultivos acuáticos son también efectivas, y surgió un nuevo concepto, la Blastofiltración.

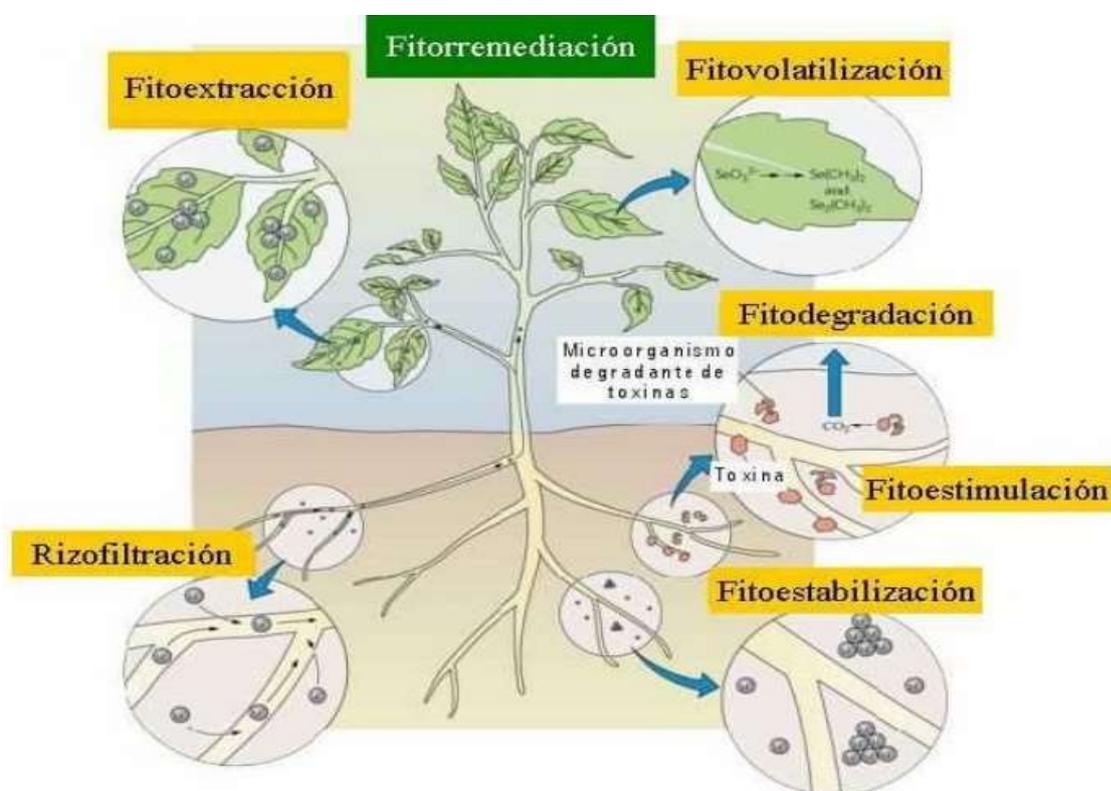
La fitovolatilización o biovolatilización es una transferencia de contaminantes desde el suelo o agua hacia la atmósfera, sirviendo las plantas de intermediario (Cunningham, 1996). Este proceso engloba la absorción y transformación de los contaminantes hacia formas volátiles, que son finalmente emitidas a través de las raíces, tallos u hojas. Aunque esta técnica parece fundamentalmente útil para contaminantes orgánicos.

Existen otras técnicas especialmente adecuadas para contaminantes orgánicos, como la fitoestimulación o rizodegradación, basada en la exudación por parte de las raíces de compuestos orgánicos y nutrientes que estimulan el crecimiento microbiano en la rizosfera. La alta concentración microbiana parece

incrementar las tasas de eliminación de. una amplia variedad de compuestos orgánicos contaminantes.

Las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante distintos procesos que se representan en la siguiente figura:

FIGURA N° 6: LOS DISTINTOS PROCESOS DE ACUMULACIÓN



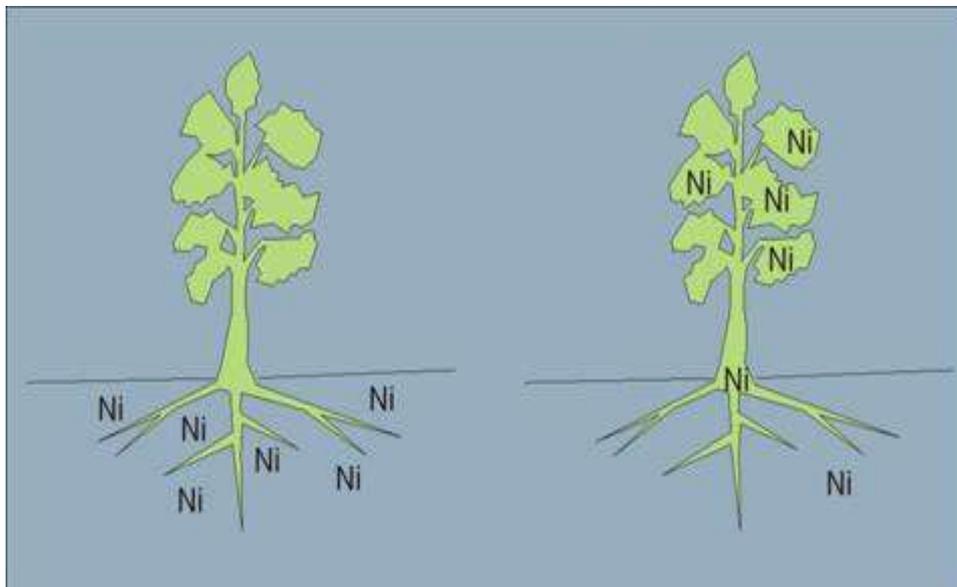
Fuente: Web: remediación de suelos. Biotecnología.2006

Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia. Otras plantas comunes que se han ensayado con éxito como posible especies fitorremediadoras en el futuro

inmediato son el girasol, la alfalfa, la mostaza, el tomate, la calabaza, el esparto, el sauce y el bambú.

En general, hay plantas que convierten los productos que extraen del suelo a componentes inocuos, o volátiles.

FIGURA N° 7: CAPTACIÓN DE METALES POR FITOEXTRACCIÓN



Fuente: Puschenreiter M. et al; Phitoextraction, Sci. 164.2001

Algunas plantas absorben cantidades extraordinarias de metales en comparación con otras. Se selecciona una de estas plantas o varias de este tipo y se plantan en un sitio según los metales presentes y las características del lugar. Después de un tiempo, cuando las plantas han crecido, se cortan y se incineran o se dejan que se transformen en abono vegetal para reciclar los metales. Este procedimiento se puede repetir la cantidad de veces que sea necesario para reducir la concentración de contaminantes en el suelo a límites aceptables.

a) Especies de plantas extractoras

Las especies capaces de acumular grandes cantidades de metales pesados se presentan en la siguiente tabla.

TABLA N° 4: PLANTAS ACUMULADORAS DE METALES

PLANTA	ELEMENTO	ABSORCIÓN
<i>Alyssun bertolonii</i>	Ni	20%
<i>Arabis stricta</i>	Sr	1-3%
Asteraceae	Zn, As	76%
<i>Astragalus racemosus</i>	Se	1-3%
<i>Becium homblei</i>	Cu, As	1-3%
<i>Betula papyrifera</i>	Hg	1-3%
<i>Brassica Juncea</i>	Cd, Pb	70%
Brassicaceae	Cd, Pb	85%
<i>Crotolaria cobatica</i>	Co	1-3%
<i>Elsholtzia splendens</i>	Cd, Pb 8	5%
<i>Equisetum arvense</i>	Zn, As	1-3%
Fabaceae	Cu	9-12%
<i>Pimelea suter</i>	Cr	1-3%
Pteridaceae	Cd, Ni	2-4%
<i>Pinus sibericus</i>	W	1-3%
Plantaginaceae	Pb, Zn	69%
Lamiaceae	Zn, Cd	2-6%
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Zn, Pb	53%
<i>Thlaspi calaminare</i>	Zn, Pb, As	64%
<i>Uncinta leptostachy, Helianthus annuus</i>	U	1-3%

Fuente: Brooks R. R. Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals.1998

2.5. BASES TEÓRICAS

2.5.1. PLANTAS EN AMBIENTES CONTAMINADOS POR METALES

Los suelos contaminados por metales pueden soportar una amplia colonización de plantas durante muchos años, incluso algunas áreas pueden soportar una amplia y diversa comunidad de especies, la cual puede ser o no fitogeográficamente distinta de la vegetación circundante en suelos no contaminados (Baker, 1987). Sin embargo, Antonovics (1971) plantea que a pesar de que la evolución de taxones tolerantes parece ser un fenómeno común, se debe plantear si las especies son inherentemente tolerantes a los metales incluso cuando no crecen en suelos contaminados y por tanto, son capaces de colonizar áreas contaminadas.

Lambinon y Auquier (1963) propusieron la clasificación de los taxones encontrados en suelos contaminados como plantas metalófitas, pseudometalófitas y metalófitas accidentales.

Las plantas Metalófitas son especies de plantas que han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con alto nivel de metales (Becerril et al., 2007). Son plantas encontradas solo en suelos con altas concentraciones de metales pesados; y por tanto, son endémicas de zonas con afloramientos naturales de minerales metálicos. Tienen una distribución geográfica muy limitada y en algunos casos han sido recolectadas en pocas ocasiones (Becerril et al., 2007).

Existe otro grupo de plantas, de un ámbito de distribución más extenso, pero que por la presión selectiva son capaces de sobrevivir en suelos metalíferos; 38 son las especies Pseudometalófitas (Becerril et al., 2007). Estas plantas pueden estar presentes en suelos contaminados y no contaminados en la misma región. Corresponden a variantes adaptadas (ecotipos) de especies comunes por ejemplo, *Deschampsia caespitosa*, *Holcus lanatus* y *Mimulus guttatus*.

En tanto, las plantas metalófitas y pseudometalófitas han desarrollado verdaderas estrategias de tolerancia, las metalófitas accidentales presentan claros efectos de estrés causado por la presencia de metales pesados (Baker, 1987).

2.5.2. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS HACIA LOS METALES PESADOS

La tolerancia hacia los metales pesados está representada por la habilidad de sobrevivir en un suelo que es tóxico a otras plantas, y se manifiesta mediante una interacción entre el genotipo y su ambiente (Macnair et al., 2002), lo cual determina su sobrevivencia.

Los mecanismos de tolerancia son en gran parte internos: los metales son absorbidos por plantas crecidas en sustrato metalífero, presentando una serie de adaptaciones fisiológicas y bioquímicas desarrolladas en varios grados para diferentes metales en diferentes especies y poblaciones (Baker et al., 1987).

2.5.3. ABSORCIÓN Y TRANSPORTE DE METALES EN LAS PLANTAS

La absorción radicular es la vía mayoritaria de entrada a la planta de muchos elementos y es necesario que el elemento se encuentre disuelto para ser absorbido por la planta (Menguel y Kirkby, 2001).

Los iones solubilizados en la zona de la raíz entran en ella gracias al movimiento del flujo del agua o por difusión entre la solución que hay dentro del apoplasto de la raíz y la circundante. La solución del suelo y los iones disueltos pueden entrar directamente por la vía sim plástica (entrada dentro de las células) o apoplástica, en un flujo desde la epidermis hasta la Banda de Caspari a través del espacio libre intercelular.

La Banda de Caspari obliga a los elementos químicos a continuar el camino por la vía simplástica, es decir, a penetrar en el interior de las células vegetales. A nivel de la membrana celular la entrada de los iones (absorción) se produce de forma general mediante proteínas transportadoras. Aunque hay distintos tipos de transportadores de membrana, en el caso del arsénico hay dos que tienen un papel fundamental en su absorción: las acuaporinas y los transportadores de fosfato. Las acuaporinas son canales de entrada de agua juegan un papel fundamental en la absorción de moléculas sin carga como glicerol, amoniaco y ácido bórico, silícico y arsenioso (Zhao y col., 2009).

Mientras, los transportadores de fosfato pueden permitir la entrada de metales en muchas especies vegetales Esta forma tiene una alta afinidad por los grupos -SH y suele ser complejada y almacenada en la vacuola, pero también puede

transportarse. El transporte xilemático de los metales tiene gran importancia porque va a determinar la distribución y localización de los metales en la planta. El fosfato es un anión altamente móvil en planta, por lo que ayuda a los metales a estar movilizados.

Existe una clasificación realizada en función de la concentración de elemento traza que se encuentra en la parte aérea de las plantas {Baker, 1981).

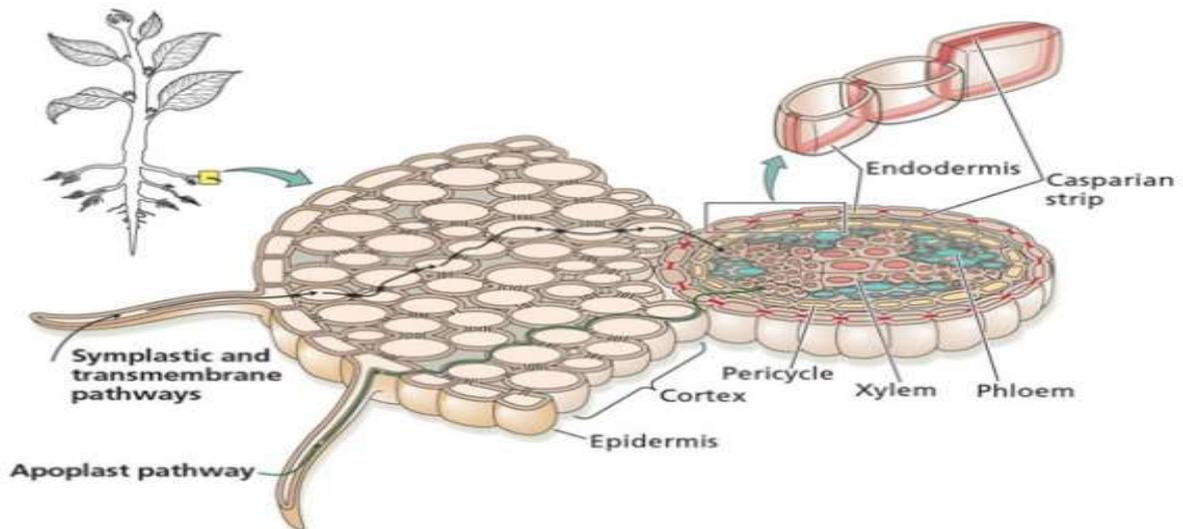
- a) **Plantas exclusoras:** aquellas que restringen la llegada del elemento en cuestión a la parte aérea, por lo que su concentración es baja. Cuando la concentración de tóxico en el medio es demasiado alta, la planta no puede excluirlo y se refleja una subida repentina de su concentración, lo que suele causar efectos drásticos sobre la planta.
- b) **Plantas indicadoras:** la concentración de elemento en parte aérea es proporcional a la que hay en el suelo.
- c) **Plantas acumuladoras:** aquellas que muestran una concentración elevada de elemento traza en la parte aérea, mayor que la del suelo en que viven.

Especialmente llamativo es el caso de las especies hiperacumuladoras. Se han establecido varios criterios para definir la hiperacumulación de un elemento, pero básicamente tienen en común la concentración inusualmente alta en parte aérea de elementos traza {Becerril et al; 2007}.

Las características más comunes para declarar una planta como hiperacumuladora son:

- i) Que la concentración de elemento en parte aérea sea alta, en el caso del As $> 0,1\%$
- ii) Que la concentración en parte aérea sea 10 - 500 veces mayor que la de la misma planta en ambientes no contaminados.
- iii) Que el ratio de las concentraciones del elemento en parte aérea y raíz sea > 1 . Recientemente se ha lanzado la hipótesis de que la acumulación de elementos traza en parte aérea podría ser un mecanismo de defensa frente a sus enemigos, especialmente herbívoros, ya que dichas plantas serían menos atractivas para su consumidor o incluso causarían su muerte (Puschenrieter, 2001).

FIGURA N° 8: ESTRUCTURA DE LA RAÍZ VEGETAL- VÍAS DE ABSORCIÓN



Fuente: Taiz y Ziegler, 2002

2.5.4. BASE GENÉTICA A LA TOLERANCIA

El genotipo y el ambiente producen una variación en el fenotipo del organismo y la proporción de la variabilidad fenotípica total debida a los efectos genéticos aditivos (como es el caso de la tolerancia hacia los metales pesados) se denomina herencia en sentido limitado (Bradshaw y McNeilly, 1985). La flexibilidad fenotípica es la capacidad de un genotipo para funcionar en un rango de ambientes mediante una respuesta plástica y/o estable.

De acuerdo a lo anterior, Bradshaw y McNeilly (1985), sugieren que la base genética de la tolerancia hacia los metales pesados, son altamente heredables, lo que involucra una rápida respuesta frente a la selección, debido al importante componente genético aditivo que controla la variación de la tolerancia. Estos autores señalan que las poblaciones tolerantes a los metales han debido surgir de poblaciones normales que nunca habían experimentado la toxicidad metálica y por tanto, no eran tolerantes. Existen, por tanto, muchas especies que no son capaces de desarrollar una tolerancia por falta de variabilidad y no por falta de selección natural, ya que viven en las zonas cercanas y extienden sus semillas a las áreas contaminadas. En este contexto también es importante considerar el flujo de genes desde suelos normales hacia suelos contaminados con metales pesados, que potencialmente podría reducir la tolerancia.

Baker (1987) sugiere que la flora crecida en suelos contaminados de zonas de explotación minera corresponde a dos tipos de distribución: taxones crecidas en las minas y especies encontradas fuera de los afloramientos metalíferos. Algunos autores señalan que los taxones crecidos en las zonas mineras son Paleo-

endémicos, que corresponden a especies que anteriormente tenían una amplia distribución y ahora están confinadas en un área en particular; mientras, otros sugieren que son neo-endémicas, especies que se han originado en determinadas áreas en respuesta a unas condiciones ambientales particulares.

Antonovics et al., (1971) sugieren que los taxones de mina podrían ser el resultado de una evolución paralela en la vegetación circundante y la tolerancia hacia metales y por tanto, neo-endémicos, además señala que la tolerancia tiene dos sentidos, el primero que se refiere a cualquier especie encontrada en el área contaminada donde otras especies están excluidas.

En el segundo caso, especies normalmente no tolerantes pero con la capacidad de evolucionar a taxones tolerantes. En el primer caso no está claro si la especie es tolerante, incluso en suelo no contaminado, o si es un ejemplo del segundo caso que ha evolucionado hacia un taxón tolerante.

Ernest (1976), demostró que muchas plantas tolerantes han presentado menos crecimiento y una menor cantidad de biomasa en comparación con otras plantas no tolerantes.

2.5.5. Especificidad de la tolerancia a los metales

Se ha demostrado en numerosos estudios que existe una gran diferencia en la absorción de metales de las diferentes especies de plantas, y también entre genotipos de especies (Brooks, 1998; Prasad, 1997 y Prasad y Hagemeyer, 1999). Sin embargo, a la hora de elegir las especies determinadas para un sitio,

es muy importante incluir las especies que crecen a nivel local o muy cerca del sitio, las cuales son competitivas en virtud de las condiciones locales y toleran más eficientemente la toxicidad del contaminante (Baker 2004).

La tolerancia es un factor genéticamente estable y de carácter heredable. De esta manera, las semillas de plantas específicas pueden ser usadas sin perder su habilidad (Williamson, 1982).

i) Tolerancia múltiple

La tolerancia es específica hacia un metal en particular y esta habilidad no siempre confiere una tolerancia significativa hacia otros metales (Williamson, 1982). Sin embargo existen algunas excepciones, debido a que las plantas también colonizan los suelos multicontaminados y de la misma forma que hay poblaciones tolerantes a un único metal, también existen poblaciones resistencia a dos metales, como por ejemplo, Pb y Zn o Cu y Pb (Bradshaw y McNeilly, 1985); o bien, a más de dos metales presentes a concentraciones potencialmente tóxicas. Este fenómeno es llamado de Múltiple Tolerancia y ha sido bien documentada desde Gregory y Bradshaw (1985). La cotolerancia, mediante el cual la tolerancia hacia un metal confiere algún grado de tolerancia a otro, ha sido menos documentada (Baker, 1987).

ii) Tolerancia Constitucional

Se define como la no evolución de las razas tolerantes. La primera evidencia fue reportada por Antonovics (1971), posteriormente otras publicaciones sugirieron que las especies pueden diferir ampliamente sus límites de

tolerancia (Wu y Antonovics, 1976). Estudios realizados por McNaughton et al. (1974), demostraron que poblaciones de *Typha latifolia* crecida en suelos contaminados y poblaciones crecidas en suelo control (no contaminados) no mostraron evidencia de una diferenciación entre poblaciones.

iii) **Tolerancia Facultativa**

La tolerancia facultativa son aquellas especies crecidas en suelos metalíferos que son capaces de acumular metales pesados pero, que no son capaces de acumular cuando crecen en suelos normales (Reeves, 2006). Pertenecen a este grupo las llamadas metalófitas o acumuladoras facultativas.

2.5.6. **ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA HACIA LOS METALES PESADOS**

Baker (1981) sugirió tres estrategias básicas de tolerancia a los metales:

- i) **Metal-Exclusión**, en que el metal absorbido y transportado es restringido principalmente en las vacuolas de las raíces, o en la rizósfera, restringiendo su translocación hacia los tallos. Las plantas con mecanismos de metal resistencia basadas en la exclusión son denominadas Excluseras y pueden ser eficientes para tecnologías de fitoestabilización. La exclusión es la estrategia de tolerancia más característica de especies sensibles a los metales.

- ii) **Metal-Acumulación**, en que no hay restricción y los metales son acumulados en formas no nocivas para la planta, ya sea mediante un

ligamiento con células de la pared, almacenamiento de los iones al interior de la vacuola, complejación por ácidos orgánicos y posiblemente por proteínas ligadoras de metales específicos y otras propiedades como adaptaciones enzimáticas y efectos en la permeabilidad de la membrana. Las plantas con mecanismos de metal-acumulación son denominadas Acumuladoras y son las especies más comunes en los suelos contaminados. Dentro de este grupo existen muchas especies de las familias Brassicaceae y Compositae (Tiustos et al., 2006). Las especies que presentan mecanismos altamente especializados que les permiten acumular metales en su parte aérea, hasta alcanzar concentraciones superiores a 20% (Brooks, 1998, Ginocchio, R. y Baker, A., 2004). Actualmente se utiliza el término hiperacumuladora de metales para designar plantas que acumulan más de: 100 ppm de Cd, 1000 ppm de Al, As, Co, Cu, Pb, Ni y Se y más de 10000 ppm de Zn y Mn, (Baker et al., 1994, Kabata-Pendias y Pendias, 2000, Kidd et al., 2007).

- iii) **Metal- indicación**, son plantas que reflejan el contenido de metales en el suelo. A este grupo pertenecen la mayoría de las plantas agrícolas, ej. Trigo, avena, maíz. Además de musgos y líquenes, conocidos como los indicadores más sensibles de contaminación atmosférica, muchos otros órganos de plantas han mostrado ser buenos indicadores de contaminación de suelo y ambientes acuáticos.

2.5.7. Mecanismos celulares de tolerancia

Las estrategias para evitar la acumulación de metales pesados son diversas, extracelularmente incluyen funciones de micorrizas, pared celular y exudados extracelulares. También puede participar la membrana plasmática, ya sea mediante la reducción de la absorción de metales pesados o bien estimulando el flujo de salida de los metales que han entrado en el citosol.

Dentro del protoplasto existe una variedad de mecanismos potenciales, como por ejemplo:

- La reparación de proteínas
- La participación de metalotioneinas
- La quelación de metales formando complejos metálicos en el citosol mediante compuestos orgánicos, aminoácidos o péptidos.
- Su compartimentación fuera de procesos metabólicos mediante el transporte dentro de la vacuola. De esta manera pueden inmovilizar, compartimentar y/o desintoxicar los metales que llegan al interior celular.

2.5.8. Valoración e Índices de tolerancia a los metales

Bradshaw (1952) fue uno de los primeros en valorar la falta de tolerancia de *Agrostis capillaris*, crecida en un suelo contaminado con plomo, mediante la inhibición del crecimiento radical. Posteriormente Wilkins (1957), desarrolló un índice basado en la cuantificación de los efectos inhibitorio de los iones metálicos en el crecimiento radical. De esta manera, cuanto mayor es la longitud de la raíz en la disolución que contiene el metal, mayor es el índice de tolerancia

(Bradshaw y McNeill, 1985). Este método de valoración ha sido usado ampliamente y modificado.

Actualmente son más usados los índices que reflejan tanto la acumulación de metales pesados como su movimiento dentro de la planta. Dentro de los más importantes están:

i) Índice de Bioconcentración (BF)

Este índice puede encontrarse en la bibliografía también citado como Coeficiente de absorción biológica (BAC), Coeficiente de Transferencia (TC) o Factor de concentración (Ct). Se define como la relación de la concentración del metal en la planta con respecto a la concentración total del metal en el suelo (Figliolia et al., 2002 y Perez-Sirvent, 2008). Este índice es ampliamente usado para comparar la eficiencia de diferentes plantas (Kabata-Pendias y Pendias 2000).

ii) Shoot accumulation factor (SAF)

También es conocido por Factor de Remediación (RC) o Bioaccumulation factor (BAF). Es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto a la superficie del suelo (Vyslouzilova et al., 2003). También es la concentración del elemento entre la concentración total de los elementos en las partes aéreas de las especies, con respecto al área del suelo. Este índice puede otorgar una indicación si la planta es apta para los procesos de fitoextracción (Whitfield y Zeeb, 2010). Si este índice es mayor que 1, el objetivo de la remediación se da por cumplido y la eliminación de

la vegetación contaminada sería económicamente más efectiva que la eliminación del suelo contaminado.

Si este índice es menor a uno, también podría ser aceptable, por ejemplo, cuando se hace compactación antes de transportar los desechos de la planta fuera del sitio para reducir el volumen del material vegetal a extraer y por lo tanto, aumenta la concentración de los contaminantes en el proceso final de la fitoextracción (Sas-Nowosielska et al., 2004).

iii) Factor de Transferencia (FT)

Relaciona la acumulación de metales en la parte aérea con respecto a la raíz y es usado para medir la efectividad de la planta en la translocación de metales pesados desde la raíz hacia la parte aérea (Sun et al., 2008).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo: aplicada, de campo, experimental y cuantitativa, ya que se utiliza los conocimientos de la fitoextracción en la práctica.

3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Con relación a la naturaleza del estudio de la investigación reúne por su nivel las características de un estudio descriptivo.

3.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación es experimental a nivel de la planta que desarrollara dentro de un terreno de estudio.

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación aplico un diseño de investigación denominado experimental que es la que se utiliza para encontrar el comportamiento de una variable a partir de diferentes combinaciones de factores o variables de entrada de un proceso, que al cambiar afectan la respuesta.

Siendo esta la conceptualización de la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados, quiere decir que se establece el efecto a causa de una manipulación con un tipo de pre y post prueba; debido a que se operara dos variables una independiente (ortiga) otra dependiente (fitorremediación de suelos con plomo), para observar los cambios que se generen, en el proceso de descontaminación de la muestra (HERNANDEZ, 2010, p.122)

3.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La ortiga (*urtica urens*) tiene la eficiencia de acumular mediante la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018.

3.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Las características morfológicas de la planta presentan cambios importantes después de la fitorremediación del suelo contaminado por plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018.
- La extracción de plomo a través de las hojas y raíces de la ortiga (*urtica urens*) es altamente significativa después de la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en La Provincia Constitucional del Callao, 2018.

3.5. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Eficacia de la acumulación de la ortiga

3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Fitorremediación de suelos con plomo

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA N° 5: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
V1: Capacidad de la ortiga	Planta herbácea vivaz perenne de hasta un metro de altura, considerada una mala hierba, de cepa ramificada con tallo erguido y cuadrangular. Crece con poca luz solar, con temperaturas bajas, suelos húmedos, con pH de 5.5 a 8, puede multiplicarse a partir de una sola planta presente en cualquier suelo. (HUERTA, 2007, p.132)	Las plantas de ortiga serán trasplantadas en macetas con la muestra de relave y al cabo de dos meses será evaluada la acumulación de plomo tanto en las hojas, raíces, su tamaño y la altura de la ortiga durante ese tiempo de evaluación	Características Morfológicas	Tamaño inicial de la planta	cm
				Tamaño final de la planta	cm
				Cantidad de hojas	uni.
			Extracción de Plomo	Plomo en las hojas	mg/kg
				Plomo en las raíces	mg/kg

V2: Fitorremediación de suelos con plomo	La fitorremediación (phyto = planta y remediación = mal por corregir), es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, acumular destruir contaminantes entre ellos metales, asimismo de acuerdo al contaminante presente los parámetros varían del suelo (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos, sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. (AGUDELO, 2005, p.59)	Se tomaran las muestras de suelo contaminado por plomo en la Provincia Constitucional del Callao, se procederá a analizar el plomo presente antes de aplicar la técnica de fitorremediación, después de dos meses se volverá a analizar el suelo para verificar si el plomo fue acumulado por la planta y mejoro la calidad del suelo.	Concentración	Plomo inicial	mg/kg
			de Plomo en el	Plomo Final	mg/kg
			Suelo	Conductividad	us/cm
			Parámetros Físicoquímicos	pH	0-14
				Temperatura	°C

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.7. COBERTURA DEL ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN

3.7.1. POBLACIÓN

Se tomara como población el área de influencia de los almacenes y aproximadamente de los suelos más cercanos al lugar de transporte de los materiales de plomo en la Provincia Constitucional del Callao. (Ver imagen N° 3)

IMAGEN N° 3: ÁREA AFECTADA POR METALES PESADOS



Fuente: imagen propia, 2018

3.7.2. MUESTRA

La presente investigación se basara en la técnica del muestreo no probabilístico, esta nos indica que las muestras se recogen en un proceso que no brinda a todos los individuos de la población iguales oportunidades de ser seleccionados. Generalmente son seleccionados en función de su accesibilidad o a criterio personal e intencional del investigador. (AVILA, 2006, p.89).

Es por ello que del área considerada se extrajo 20 m² (50 kg) de suelo para la investigación, fueron tomados 05 puntos de muestreo, siguiendo la guía para muestreo de suelos en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. (Ver Tabla N° 6 e imagen N° 4)

TABLA N° 6: COORDENADAS DE LOS 05 PUNTOS DE MUESTREO

Puntos	Latitud	Longitud
1	12°02'39''S	77°08'09''W
2	12°02'39''S	77°08'07''W
3	12°02'42''S	77°08'07''W
4	12°02'42''S	77°08'08''W
5	12°02'42''S	77°08'11''W

Fuente: Elaboración propia, 2018

IMAGEN N° 4: PUNTOS DE MUESTREO



Fuente: Imagen Google Eart. 2017

3.8. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.8.1. Técnicas de recolección de datos:

Una investigación es científicamente válida al estar sustentada en información verificable, que responda lo que se pretende demostrar con la hipótesis formulada. Para ello, es imprescindible realizar un proceso de recolección de datos en forma planificada y teniendo claros objetivos sobre el nivel y profundidad de la información a recolectar. La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información, los cuales pueden ser la entrevistas, la encuesta, el cuestionario, la observación, el diagrama de flujo y el diccionario de datos.

La observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento de la conducta manifiesta, la cual puede utilizarse en muy circunstancias el investigador participa mirando, registrando y analizando los hechos de interés. (FERNANDEZ, 2006, p.4)

Es por ello que para la presente investigación se ha considerado como técnica de recolección de datos la observación, asimismo esta me permitirá conocer la realidad a partir de la primera interacción directa con las variables, y como instrumento se utilizara las fichas de

observación, esta nos ayudara para llevar un monitoreo de los cambios a través del tiempo, la misma que se adjunta en el Anexo N° 1.

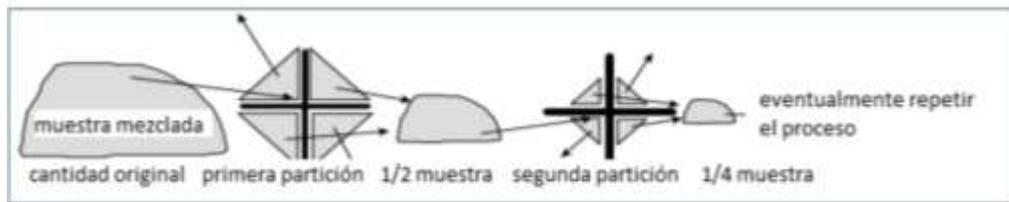
3.8.2. PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN LA INVESTIGACIÓN

a) Recolección de muestra

- En primera instancia se determinó el lugar para realizar el estudio de esta investigación, se hizo la visita in situ, conociendo la realidad de la problemática e investigando sobre los almacenes de plomo en la Provincia Constitucional del Callao.
- Durante el proceso de esta investigación se utilizara la guía para muestras de suelos en el marco del D. S. N° 002-2013-MINAM, utilizando el muestreo de localización para áreas contaminadas.
- Así mismo del área delimitada, se realizaron 05 puntos, los cuales se procedieron a realizar las debidas calicatas con una profundidad de 0-10 cm en suelos urbanos, para poder obtener las muestras necesarias para dicha investigación.
- Finalmente de los 05 puntos de muestreo, las siguientes submuestras se homogenizaron, para posteriormente pasar a realizar la técnica del cuarteo (ver imagen n° 5), para luego obtener la submuestra representativa de 50 kilos.
- Seguidamente se procede a rotular debidamente con nombre, lugar y fecha para poder analizar la concentración de plomo presente en suelo inicialmente, la muestra sobrante se colocó en

sacos seguros que eviten la pérdida de la muestra, para luego colocarlo en las macetas correspondientes para el trasplante de la planta ortiga y observar su desarrollo y cambio durante el proceso de evaluación.

IMAGEN N° 5: TÉCNICA DEL CUARTEO



Fuente: Guía para muestreo de suelos MINAM, 2013

- Al tomar las muestras y la realización del proyecto las herramientas que se utilizó son:
 - ✓ Bolsas impermeables para la muestra
 - ✓ Palas
 - ✓ Picos
 - ✓ Cinta métrica
 - ✓ Sacos, guantes
 - ✓ Plumones de tinta permanente
 - ✓ Cámara Fotográfica, etc
 - ✓ Macetas de 2 kg y medio
 - ✓ Plantas de ortiga
 - ✓ Agua para el regadío de la planta durante el proceso
 - ✓ Botellas
 - ✓ Fichas de Observación
 - ✓ Bolsas
 - ✓ cuadernillos

3.8.3. ANÁLISIS DE MUESTRAS

Para el análisis tanto inicial como final de la muestra de suelo, se envió a un laboratorio certificado (Universidad Nacional Agraria La Molina – Facultad de Agronomía) para obtener los resultados más concretos y confiables. Los resultados serán de plomo inicial y final presente en el suelo, el pH inicial y final, Conductividad eléctrica inicial y final, análisis de la planta inicial y final con presencia de plomo.

3.9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el procedimiento a seguir en la investigación se basó en la investigación de Callirgos R. 2014

- Para iniciar con el proceso de la presente investigación, se adquirió 05 macetas de 2 kilos y medio exactamente, se envió a analizar estas 05 muestras de suelo, de plomo, pH y conductividad eléctrica inicial.
- Las muestras obtenidas del área seleccionada se colocó debidamente en las macetas, agregándole 2 kilos de muestra de suelo contaminado por plomo, separando lo que se envió a analizar.
- El 15 de abril se procedió a realizar el trasplante de las 05 ortigas de 02 meses de crecimiento, siendo estas obtenidas de la provincia de Huaral, tomando los datos necesarios tamaño y número de hojas, este se dejara ahí aproximadamente 02 meses para evaluarlo nuevamente el 15 de junio y analizar cuál es la capacidad de la ortiga para fitorremediar el suelo contaminado por plomo.
- Se analizó 1 planta de la especie *urtica urens* para verificar su plomo inicial antes de trasplantarlo y se le considerara ese valor a las 05 plantas.

- Después de haberlas transplantado se regó interdiariamente y se monitoreo para ver el proceso y los cambios registrándolos en fotografías.
- Después de los 02 meses de experimentación, se verifico el tamaño de las 05 ortigas, la cantidad de hojas y se envió a analizar las 05 especies de ortiga para ver cuánto ha sido lo que ha acumulado del contaminante.
- También se envió analizar el suelo después de los 02 meses de experimentación y se verificara cuanto del plomo acumuló la planta y cuanto disminuyo la concentración de plomo. Asimismo también se analizó el pH, CE, final.
- Se tomó en cuenta la temperatura durante los 02 meses, siendo registrada de la página oficial de SENAMHI.
- Finalmente con los resultados obtenidos procedemos a analizarlo, comparar y determinar la capacidad de acumulación de la ortiga.

3.10. ASPECTOS ÉTICOS

En esta investigación se tuvo en cuenta el respeto a la población del lugar donde se realizara la investigación, en la experimentación se buscó una especie que no afecte a dicha población, sino que esta especie es una mala hierba que no solo tiene beneficios para salud sino que hará la labor de extraer el contaminante.

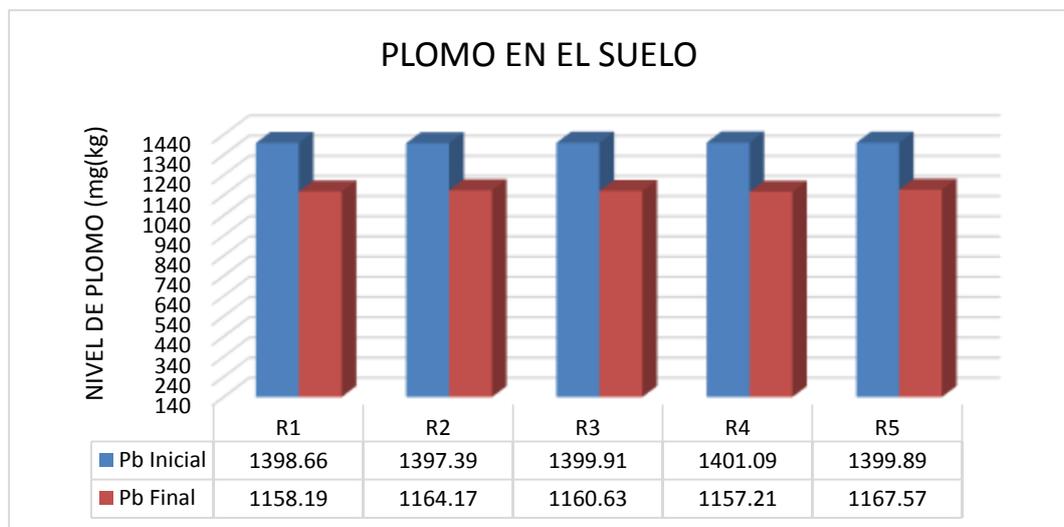
Se respetó los resultados, la autoría de las fuentes utilizadas, convicciones morales, religiosas políticas y jurídicas.

CAPÍTULO IV

ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE SUELO

GRÁFICO N° 1: CONCENTRACIONES DE PLOMO EN EL SUELO



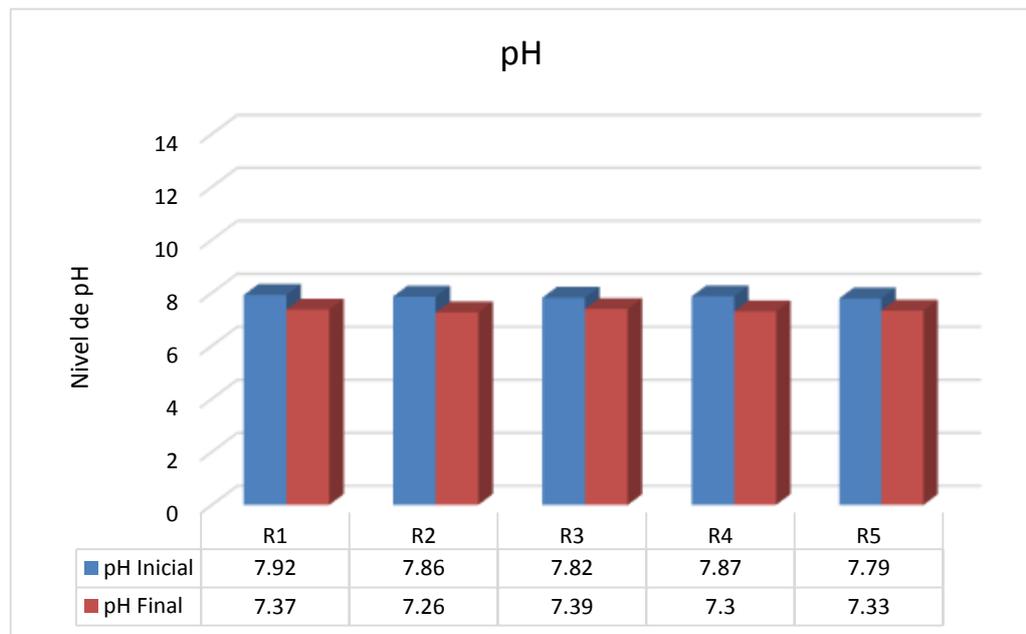
Fuente: Elaboración propia, 2018

Interpretación:

Como se muestra en el gráfico N° 1 el resultado de plomo inicial de las 05 muestras homogenizadas nos indica que el plomo inicial oscila entre 1397,39 a 1401,09 mg/kg, este resultado al compararlo con los Estándares de Calidad Ambiental para suelo D.S N°002-2013-MINAM sobrepasa el nivel considerado para suelos urbanos que es de 140 mg/kg. Después del tratamiento los resultados finales como se puede observar han reducido la concentración de plomo presente en el suelo a través de la planta, en la R4 se obtuvo la mayor acumulación siendo 243.88 mg/kg y en las otras repeticiones se obtuvo un valor similar, lo que indica que la planta si acumuló parte del plomo presente en el suelo.

4.2. Análisis de pH

GRÁFICO N° 2: PH EN EL SUELO



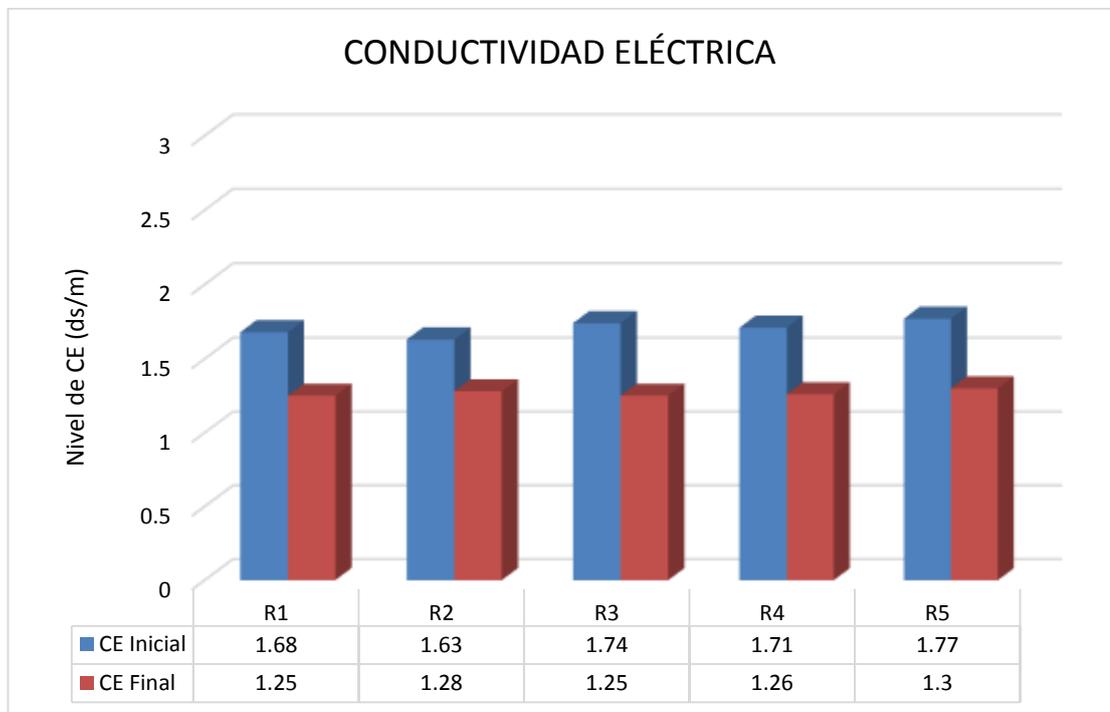
Fuente: Elaboración propia, 2018

Interpretación:

Como se observa en el gráfico n° 2 el nivel de pH del suelo inicial, está dentro de los estándares de la Guía de Canadá que es de 6 a 8 en suelos residenciales. Es por ello que se consideró que al sembrar la ortiga esta tendrá un suelo estable para poder desarrollarse satisfactoriamente, después de los 02 meses de tratamiento se verifico que el pH final del suelo ha reducido en un valor de 0.52 en su totalidad de las 05 repeticiones, asimismo este resultado nos indica que el pH del suelo sigue siendo favorable para el desarrollo de la planta.

4.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

GRÁFICO N° 3: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Fuente: Elaboración propia, 2018

Interpretación:

En el grafico N° 3 se observa que la conductividad eléctrica inicial del suelo está por debajo de 2 dS/m, lo que indica que es un suelo que esta con un nivel de salinidad dentro de los parámetros de calidad de Suelo según los Estándares de la Guía de Canadá. Asimismo la conductividad final del suelo, no vario mucho, pues los resultados de las 05 repeticiones oscilan entre 1,25 a 1,3 dS/m, lo que indica que siguen dentro del valor establecido por los estándares.

4.4. TEMPERATURA (°C)

**TABLA N° 7: TEMPERATURA REGISTRADA POR SEMANAS
DURANTE LOS MESES DE ABRIL- MAYO-JUNIO**

TEMPERATURA				
14/04/2018	21/04/2018	28/04/2018	05/05/2018	12/05/2018
26°	23°	25°	23°	24°
19/05/2018	26/05/2018	02/06/2018	09/06/2018	
22°	19°	18°	17°	

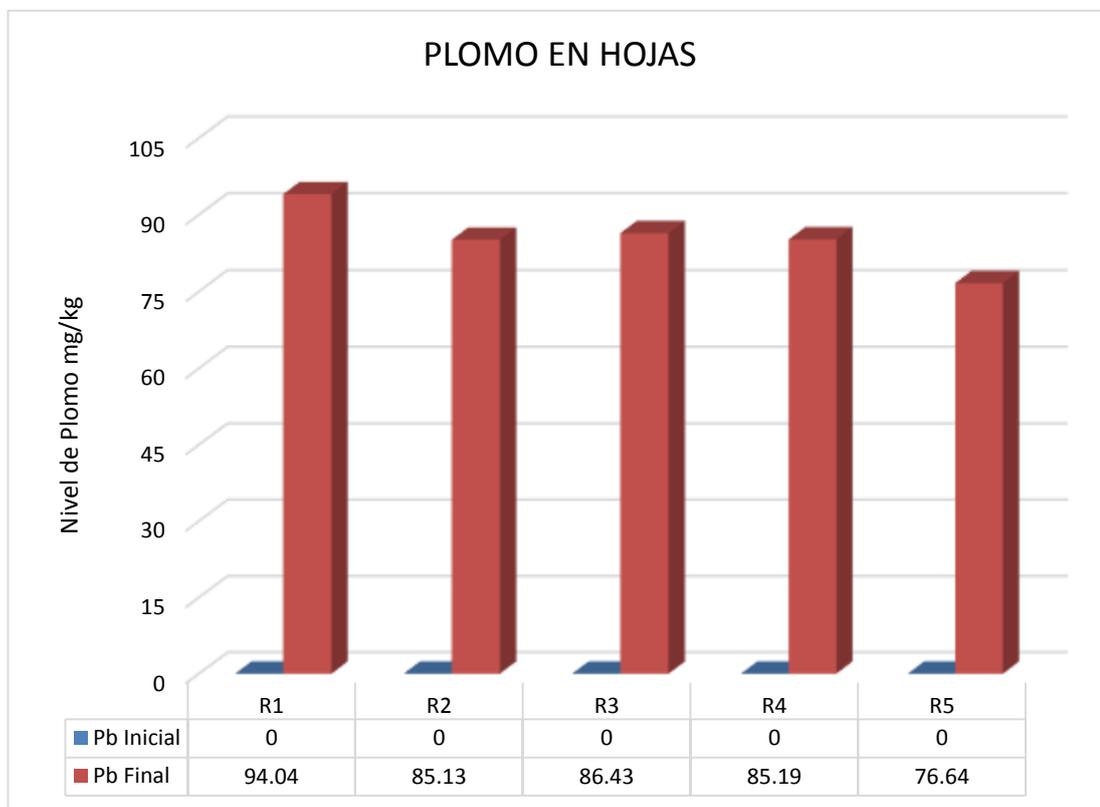
Fuente: SENAMHI, 2017

Interpretación:

En la Tabla N° 7 se observa la temperatura registrada promediándolas por semanas, variando de 26°C al inicial el tratamiento y culminando con 17°C, este indicador es de suma importancia para el desarrollo de la planta, ya que se obtiene el mayor desarrollo cuando la temperatura es más baja, lo que indica Huertas (2007), aduciendo que la ortiga es una planta de temporada fría, alcanzando su optimo crecimiento en invierno.

4.5. ANÁLISIS DE PLOMO EN HOJAS

GRÁFICO N° 4: PLOMO EN HOJAS



Fuente: Elaboración propia, 2018

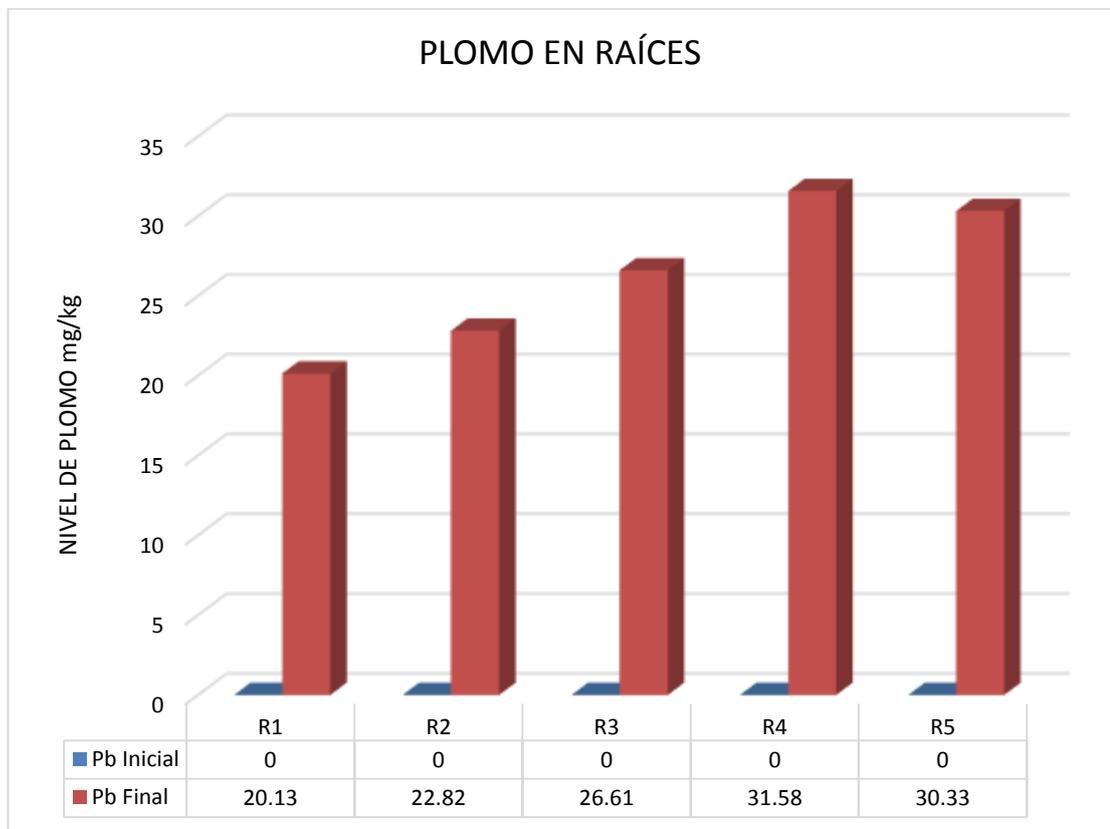
Interpretación:

Como se puede observar en el grafico N° 4 el nivel de plomo inicial en hojas fue 0, se envió a analizar previo antes del trasplante dando como resultado que no contenían plomo en sus tejidos de las hojas, lo que fue un buen indicio para que la planta pueda acumular aún más el contaminante del suelo, después de finalizar el tratamiento se puede observar que en las 05 repeticiones escogidas la planta acumuló el contaminante entre 76,64 a 94,04 mg/kg. Asimismo en la

R5 se observa que la acumulación fue la más baja de 76,64 mg/kg y en la R1 acumuló la mayor cantidad de plomo de 94,04 mg/kg.

4.6. ANÁLISIS DE PLOMO EN RAÍCES

GRÁFICO N° 5: PLOMO EN RAÍCES



Fuente; Elaboración propia, 2018

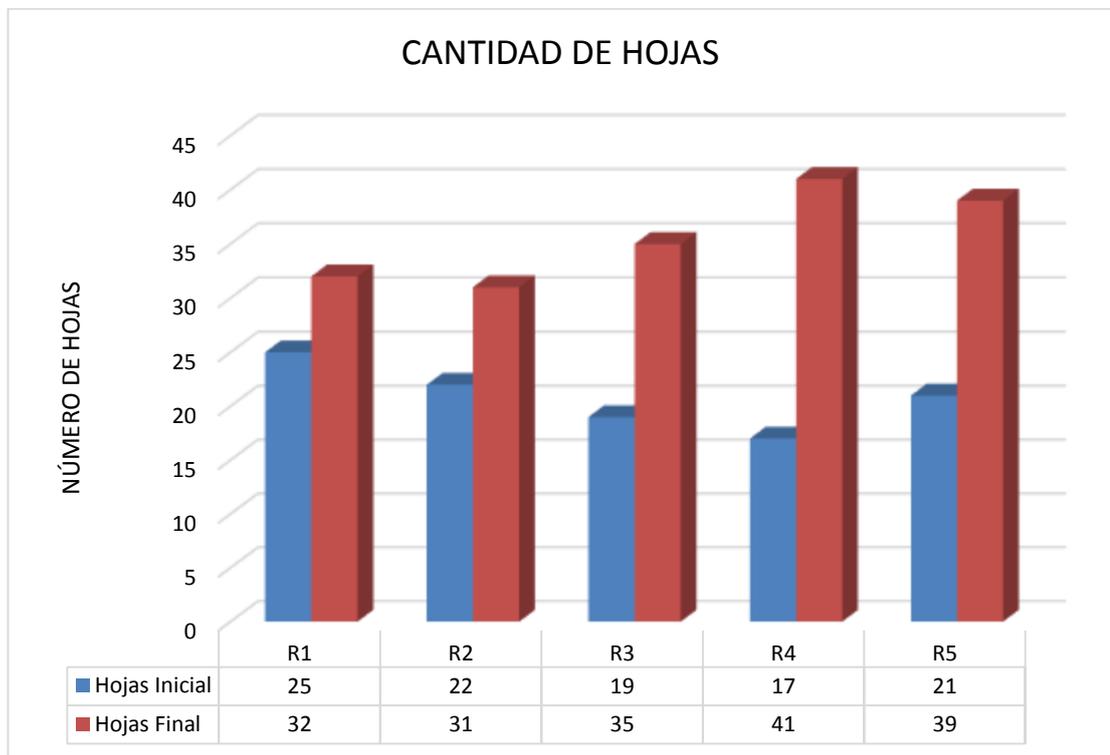
Interpretación:

Como podemos ver en el gráfico N° 5 el plomo inicial en las raíces de la ortiga es 0 es decir no presenta concentración de plomo en su composición natural, 02 meses después el valor que acumulo oscila de 20,13 a 31,58 mg/kg de plomo. En la R4 se observa que tuvo la mayor cantidad de acumulación de

plomo de 31,58 mg/kg y en la R1 tuvo la menor acumulación de plomo 20,13 mg/kg

4.7. CANTIDAD DE HOJAS

GRÁFICO N° 6: CANTIDAD DE HOJAS



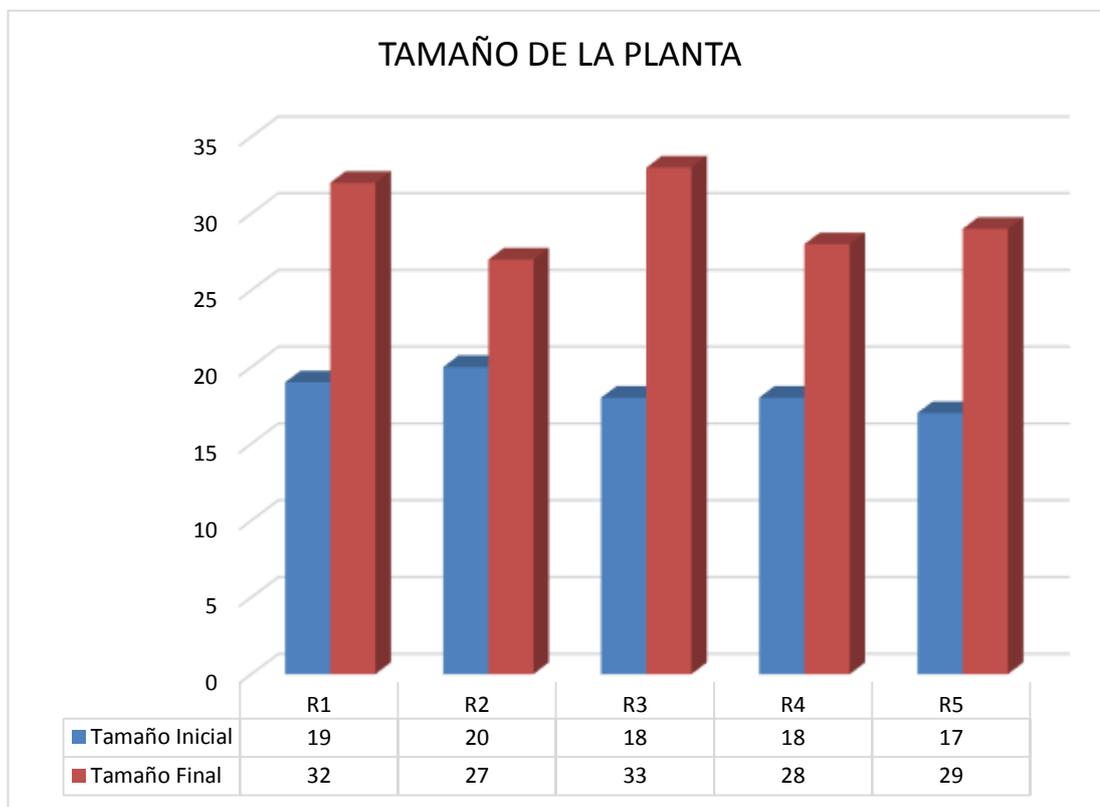
Fuente; Elaboración propia, 2018

Interpretación:

En el gráfico N° 6 podemos observar que el número de hojas inicial varía en cada una de las muestras estas oscilan entre 17 a 25 hojas por cada una de las plantas que fueron trasplantadas, asimismo después de los 02 meses del tratamiento las 05 ortigas aumentaron su número de hojas en un promedio de 15 hojas en las 05 repeticiones.

4.8. TAMAÑO DE LA ORTIGA

GRÁFICO N° 7: TAMAÑO DE LA PLANTA



Fuente: Elaboración propia, 2018

Interpretación:

En el gráfico N° 7 podemos observar que el tamaño inicial varía en cada una de las repeticiones estas oscilan entre 17 a 20 cm por cada una de las plantas que fueron trasplantadas, asimismo después de los 02 meses del tratamiento las 05 ortigas aumentaron su tamaño en un promedio de 12 cm en las 05 repeticiones.

4.9. PORCENTAJE DE EFICIENCIA

TABLA N° 8: PLOMO INICIAL Y FINAL EN EL SUELO

RESULTADOS INICIALES Y FINALES DE PLOMO		
N° Repeticiones	Pb inicial	Pb final
R1	1398,66	1158,19
R2	1397,39	1164,17
R3	1399,91	1160,63
R4	1401,09	1157,21
R5	1399,89	1167,57
PROMEDIO	1399,39	1161,55
ECA DE SUELO		140
RESIDENCIAL(MINAM)	140	

Fuente: Elaboración propia, 2018

$$EF (\%) = \frac{CI-CF}{CI} \times 100$$

CI

$$EF (\%) = \frac{1399,39 - 1161,55}{1399,39} \times 100$$

1399,39

$$EF (\%) = 17 \%$$

Interpretación:

A través de la fórmula de eficiencia según Callirgos R. (2014) observamos que la ortiga (*urtica urens*) tiene la eficiencia de acumular el 17% de plomo en 02 meses de tratamiento, que equivale a 237.84 mg/kg de plomo.

4.10. PERDIDA DE PLOMO

TABLA N° 9: PÉRDIDA DE PLOMO INICIAL Y FINAL EN EL SUELO

PERDIDA DE PLOMO	
Concentración inicial de plomo	1399,39
Concentración final de plomo	1161,55
Concentración final en hojas	80,09
Concentración final en raíces	26,29

Elaboración propia, 2018

Interpretación:

Como se observa en el tabla N° 9, la pérdida de plomo es significativa, esto nos indica que es probable que esta mínima cantidad de plomo se ha perdido por infiltración, ya que las macetas están hechas de arcillas y estas tiene poros que pudieron haberse incorporado en su composición, asimismo este metal pudo haberse lavado al momento del riego ya que la maceta tiene un orificio en la base, sin embargo la pérdida no es significativa.

4.11. DISCUSION

- Los resultados obtenidos muestran que la ortiga si tiene la capacidad de acumular plomo, disminuyendo 237.83 mg/kg de plomo inicial, lo que se contrasta con Sierra N. (2012) quien indica que utilizo el rye grass para determinar si este tiene la capacidad de acumular plomo, obteniendo como resultado que logro acumular 142 mg/kg de su concentración inicial, sin

embargo este recalca que la planta debe permanecer por más tiempo para acumular más plomo y el suelo sea remediado.

- La acumulación de plomo fue mayor en hojas que en raíces en donde las hojas acumulo un promedio de 80,09 mg/kg y las raíces en un promedio de 26,29 mg/kg, sin embargo este resultado no es compatible con el de Enríquez P. (2012) que hizo una investigación con el rye grass, en el cual indica que la acumulación fue 2438 mg/kg en raíces, esto se debe a que el rye grass posee gran cantidad de raíces y sobretodo porque en la experimentación de este investigador le agrego lombricompost y estiércol lo que ayudo a la planta a absorber más plomo en raíces que en hojas.
- La ortiga (*urtica urens*) tuvo una eficiencia de 17% en dos meses, la eficiencia hubiese sido mayor a este porcentaje si el tratamiento hubiera sido de un tiempo más largo como lo fue el de Bonilla V. (2013) ya que la investigadora lo realizo por un periodo de 05 meses obteniendo como resultados que las tres especies que utilizo tales como Amarantho que absorbió 42,92 %, 57,55 % Acelga y Alfalfa 50,76 %, siendo estos porcentajes mayores que la eficiencia de la ortiga, lo que contrasta también con Sánchez (2005) que mientras más tiempo permanece la planta en el suelo mayor será la recuperación y acumulación.
- En la presente investigación se observó que después de los 02 meses de tratamiento la ortiga (*urtica urens*) esta obtuvo un crecimiento promedio de

13 cm y el aumento de un promedio de 18 hojas por ortiga y no presento ningún daño en sus estructuras, lo que se contrasta con Paiva G. (2015) que indica que en su investigación la especie que utilizo *Amaranthus spinosus* no presento ningún signo de deterioro, sino que esta misma especie se desarrolló con normalidad aumentando su crecimiento y su número de hojas.

- De los resultados obtenidos en la investigación, se puede deducir que los parámetros fisicoquímicos que se evaluó tales como pH y conductividad eléctrica variaron después del tiempo de tratamiento disminuyendo en los dos parámetros, lo que se contradice con Callirgos R. (2014) quien utilizo la especie de *Chrysopogon zizanioides* para determinar la capacidad de acumulación, asimismo este indico que el pH y conductividad eléctrica tuvieron un aumento facilitando así el desplazamiento del plomo y el *Chrysopogon zizanioides* pueda acumular aún más el contaminante.
- Como se puede observar en los resultados finales de suelo si hubo una disminución de plomo pero no fueron suficientes para fitorremediar el suelo en su totalidad, esto debido al poco tiempo de tratamiento, asimismo también se debe a lo que menciona Jara P. (2014) quien indica que se obtiene mejores resultados cuando el tratamiento es realizado in situ, ya que se puede extraer con más precisión.

CONCLUSIONES

- 1- La ortiga (*Urtica urens*) tiene la capacidad de acumular plomo presente en el suelo de la Provincia Constitucional del Callao, logrando acumular 237,83 mg/kg en su totalidad, tanto en hojas como en raíces, asimismo teniendo un nivel de eficiencia del 17% del plomo presente inicialmente, lo que indica que la ortiga es una planta que puede acumular plomo en sus estructuras morfológicas.

- 2- La variación de las características morfológicas de la ortiga fueron en el crecimiento de la planta en 13 cm en promedio de las 05 repeticiones durante los 02 meses de tratamiento, asimismo aumento el número de hojas en un promedio de 18 hojas por ortiga, lo que facilitaría que el plomo se acumulara más en las hojas.

- 3- La acumulación de plomo en raíces fue de 26,29 mg/kg y en hojas fue de 80,09 mg/kg, obteniendo una disminución de plomo en el suelo inicial, aun así las concentraciones siguen siendo elevadas, por encima de los estándares de calidad ambiental para suelo que es de 140, lo que podría indicar que si la ortiga permanece más tiempo en el lugar contaminado este podrá acumular aún más.

RECOMENDACIONES

- 1- Para la fitorremediación del suelo en su totalidad y para poder obtener mejores resultados se recomienda realizar este tratamiento en La Provincia Constitucional del Callao (in situ), para saber cuáles son los cambios en su totalidad y cuanto es lo que podría lograr acumular.
- 2- En áreas que se necesiten remediar los suelos con urgencia se recomienda hacer uso de enmiendas orgánicas ya que éstas facilitan que el plomo pueda ser acumulado con mayor rapidez y eficacia.
- 3- Realizar el tratamiento de fitorremediación por mucho más tiempo, considerando que por 02 meses acumulo 237.83 mg/kg, y poder tener un dato exacto sobre el tiempo que tomara a la ortiga remediar dicho suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVILA Baray, Héctor L. Introducción a la metodología de la investigación [en línea]. México. 2006 [Fecha de consulta 10 de mayo del 2017] Disponible en:
<http://www.eumed.net/librosgratis/2006c/203/index.htm>. ISBN: 84-690-1999-6

BARON López, Francisco. Apuntes de Bioestadística: Tercer ciclo en ciencias de salud y Medicina. [en línea]. Málaga, España. 2004 [Fecha de consulta 12 de junio del 2017]. Disponible en:
<https://www.bioestadistica.uma.es/baron/apuntes/ficheros/cap01.pdf>

Bioningeniería y suelo: abundancia microbiológica, pH y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión por Romero M. [et al]. Sistema de Información Científica.

REDALYC .2009, no15. [Fecha de consulta: 03 de mayo del 2017]. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30415144008>
ISSN: 1692-3375

BONILLA Valencia, Sara. Estudio para tratamientos de Biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación. Tesis (Ingeniero Ambiental). Quito, Ecuador:

Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur,
2013, 69 p.

Características Físico-Químicas Del Suelo por BORGES Jorge A. [et al]. Sistema de Información Científica Redalyc [en línea].2012, no 2. [fecha de consulta: 03 de mayo del 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/857/85723473006.pdf>. ISSN: 1316-3361.

CALVO DE ANTA. Contaminación de suelos. Ecología.Vol14: 01. 1997.

CALLIRGOS Rodríguez, Cristina. Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie *Chrysopogon zizanioides* mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros. Tesis (para optar el título profesional de Ingeniería Ambiental). Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2014.

CAPACIDAD fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados por Jara Peña [et al]. Revista Peruana de Biología [en línea]. Agosto 2014, no. 2. [fecha de consulta: 30 abril del 2017] Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332014000200004&lang=pt. ISSN: 1727-9933

CARTER, M.R. Muestreo de suelo y métodos de análisis. Florida. Editorial Lewis.
Primera Edición. 2001.

DELGADILLO López. Fitorremediación una alternativa para la contaminación. [en
línea]. México. 2011 [Fecha de consulta 12 de junio del 2017].
Disponible en:
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-
04622011000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002)

DURÁN CUEVAS, Paola Andrea. Transferencia de metales de suelo a planta en áreas
mineras: ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral
Catalana. Tesis Doctoral. Barcelona. Universidad de Barcelona. 2010.

ENRIQUEZ Portugués A. Situación actual de metales pesados bajo cultivos de
agricultura orgánica. Tesis (para obtener el título de ingeniero de
Ciencias Ambientales).Coahuila, México: Universidad Autónoma
Agraria Antonio Narro, 2012.

FERNANDEZ, Núñez F. ¿Cuáles son las técnicas de recogida de información? Butlletí
La Recerca. [en línea].2006. [Fecha de consulta: 12 de mayo del
2017]. Disponible en: [http://www.ub.edu/ice/recerca/pdf/ficha3-
cast.pdf](http://www.ub.edu/ice/recerca/pdf/ficha3-cast.pdf).ISSN:1886-1946 [http://www.minam.gob.pe/wp-
content/
uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO_SUELO_MINAM1.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO_SUELO_MINAM1.pdf)

FITOEXTRACCIÓN de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas por Ortiz Cano [et al].Chapingo [en línea]. Agosto 2009, [fecha de consulta: 30 abril del 2017] Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000200009. ISSN 1027-152X

FITORREMEDIACIÓN: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos por Agudelo Betancur [et al]. Lasallista de Investigación [en línea].Junio 2005, no.2. [fecha de consulta 18 de mayo del 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/695/69520110.pdf>. ISSN: 1794-4449

GARCÍA, I. y DORRONSORO, C. Contaminación por metales pesados. En: Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. 2005. Disponible en: <http://edafología.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>. Artículo Web. Consultada en 15 mayo 2012.

GUERRERO P., Ana y HOYOS C., Marlon. Bioacumulación de plomo y cadmio en brassica oleracea subsp. Capitata (L.) Metzg. Y raphanus sativus L. Facultad de Ciencias Biológicas. [en línea]. Junio 2014, [fecha de consulta: 02 de mayo del 2017]. Disponible en: <file:///C:/Users/Yanet/Downloads/849-2584-1-PB.pdf>

HERNANDEZ Sampieri R. Metodología de la Investigación. [en línea].Mexico.2010

[Fecha de consulta 10 de mayo del 2017] Disponible en:

<https://metodologiaecs.wordpress.com/2015/03/02/libro->

[metodologia- de la-inves-tigacion-2010-5ta-ed-sampieri-online/](https://metodologiaecs.wordpress.com/2015/03/02/libro-metodologia-de-la-inves-tigacion-2010-5ta-ed-sampieri-online/)

HERRERA A. & Fontalvo H. 2011. Métodos estadísticos y su aplicación. [Fecha de

consulta 12 de junio del 2017] Disponible

en:www.eumed.net/libros/2011b/939. ISBN-13: 978-84-694-2757-6

HUERTA, CIRIZA J. Ortiga mayor urtica dioica l. Medicina Naturista [en línea].2007.

no 1. [Fecha de consulta: 02 de mayo del 2017] Disponible:

<file:///C:/Users/Yanet/Downloads/DialnetPlantasMedicinalesDeLaRi>

[beraNavarraYEIMoncayoArago-2328600%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Yanet/Downloads/DialnetPlantasMedicinalesDeLaRi/beraNavarraYEIMoncayoArago-2328600%20(3).pdf)

ISSN: 1576 3080

JUAREZ SOTO H Contaminación por metales pesados, UNA 2006

KIDD, P.C.BECERRA CASTRO, C. GARCÍA LESTÓN. Aplicación de plantas

hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género

Alyssum L. Ecosistemas Vol.16: 26-43. 2007.

LÓPEZ, M. y GRAU J.M. Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de

la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España

peninsular. Ministerio de Medio ambiente y Medio Rural, Instituto

Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria. ISBN 978-84-491-0980-5. Madrid 2009.

MARRERO, Coto J. y AMORES Sánchez, I. y COTO Pérez O. Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. Revista ICIDCA. [en línea]. La Habana, Cuba, 2012. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>

MENDOZA Martel N. Acumulación de metales pesados en beta vulgaris l. Y lolium perenne l. de suelos de Cuemanco. Tesis (para obtener el título de Bióloga). México: Universidad Nacional Autónoma De México, 2014.

MELGAREJO L. Experimentos en biología vegetal. Colombia. 2010. Universidad Nacional de Colombia. [Fecha de consulta 15 de junio del 2017] Disponible en:

http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/laboratorios/fisiologia_vegetal/documentos/Libro_experimentos_en_fisiologia_y_bioquimica_vegetal_Reparado_.pdf. ISBN: 978-958-719-668-9

Ministerio del Ambiente del Perú. MINAM. 10 de mayo del 2017.

Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/>

OMS. Intoxicación por plomo y salud [en línea] Junio 2016 [fecha de consulta: 04 de

mayo del 2017]

Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>

OYARZUN Roberto e HIGUERAS Pablo. Minería Ambiental: una introducción a los impactos y su remediación. [en línea]. Madrid, España. 2011 [fecha de consulta: 18 mayo 2017]. Disponible en:

https://www.aulados.net/Libros_Aula2puntonet_GEMM/Libro_Mineria_M A.pdf. ISBN: 4830482182

PAIVA Prado, Greta. Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando *amaranthus spinosus* – *amaranthaceae* en Cusco del 2012. Tesis (para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales). Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María, 2015.

PROCESOS de Biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos por Ferrera Cerrato [et al]. Latinoamericana [en línea]. Junio 2006, no. 2. [Fecha de consulta 18 de mayo del 2017] Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2006/mi062s.pdf>
ISSN: 01874640

SIERRA Villagrana, Rubén. Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial. Tesis (Ingeniero Agrícola y Ambiental). Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2006.

SANCHEZ Eduardo. et al. Temas sobre restauración ecológica. México. Editorial Instituto Nacional de Ecología. 2005. ISBN: 968-817-724-5

SADHEGHIAN, Siavosh. La acidez del suelo. Colombia. 2016. 2 p. ISBN:0120-0178

VELASCO TREJO Juan, DE LA ROSA PEREZ David Y RAMIREZ ISLAS Martha. Informe anual: Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Dirección de Investigación en Residuos y Sitios Contaminados y Sustancias Tóxicas del Instituto de Ecología, México, 2005.

VELAZCO, Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Universidad Autónoma de Chapingo. 1983

ANEXOS

ANEXO N° 1

FICHA DE OBSERVACIÓN

FICHA DE OBSERVACION								
PROYECTO DE INVESTIGACION: Eficacia de Acumulación de la ortiga (urtica urens) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018.								
ESTUDIANTE: Harvey Adolfo Tello Felix								
		CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS			EXTRACCION DE PLOMO			
VARIABLE INDEPENDIENTE	NUMERO DE MUESTRAS	TAMAÑO INICIAL DE LA PLANTA	TAMAÑO FINAL DE LA PLANTA	NUMERO DE HOJAS	PLOMO EN LAS HOJAS		PLOMO EN LAS RAICES	
					Inicial	Final	Inicial	Final
V1: CAPACIDAD DE LA ORTIGA								

		CONCENTRACION DE PB EN EL SUELO		PARAMETROS FISICOQUIMICOS			
VARIABLE DEPENDIENTE	NUMERO DE MUESTRAS	PLOMO INICIAL DEL SUELO (mg/kg)	PLOMO FINAL DEL SUELO (mg/kg)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA INICIAL (ds/m)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA FINAL (ds/m)	pH INICIAL (0-14)	pH FINAL (0-14)
V2: FITORREME- DIACION DE SUELO CON PLOMO							

ANEXO N° 2

MATRIZ DE CONSISTENCIA

"Eficacia de acumulación de la ortiga (urtica urens) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018"									
TIPO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
General	¿Cuál es la eficiencia de acumulación de la ortiga (urtica urens) para la fitorremediación	Determinar la eficiencia de acumulación de la ortiga (urtica urens) para fitorremediación	La ortiga (urtica urens) tiene la eficiencia de acumular mediante la fitorremediación	V1: Eficacia de acumulación de	Planta herbácea vivaz perenne de hasta un metro de altura, considerada una mala hierba, de cepa ramificada con	Las plantas de ortiga serán trasplantadas en macetas con la muestra de relave y al cabo	Características Morfológicas	Tamaño inicial de la planta	Cm
								Tamaño final de la planta	cm

	de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018?	de los suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018.	de suelos contaminados con plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018.		tallo erguido y cuadrangular. Crece con poca luz solar, con temperaturas bajas, suelos húmedos, con pH de 5.5 a 8, puede multiplicarse a partir de una sola planta presente en cualquier suelo. (HUERTA, 2007, p.132)	de dos meses será evaluada la captación de plomo tanto en las hojas, raíces, su tamaño y la altura de la ortiga durante ese tiempo de evaluación		cantidad de hojas	uni.
							Extracción de plomo	Plomo en las hojas	mg/kg
								Plomo en las raíces	mg/kg
ESPECI	¿En que varían las características	Describir la variación de las	Las características morfológicas de la	V2:	La fitorremediación (phyto= planta y	Se tomaran las muestras de		Plomo inicial	mg/kg

<p>morfológicas de la ortiga (urtica urens) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en La Provincia Constitucional del Callao, 2018?</p>	<p>características morfológicas de la ortiga (urtica urens) después de la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en La Provincia Constitucional del Callao, 2018</p>	<p>planta presentan cambios importantes después de la fitorremediación del suelo contaminado por plomo en la Provincia Constitucional del Callao, 2018.</p>		<p>remediación = mal por corregir), es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes entre ellos metales, asimismo de acuerdo al contaminante presente los parámetros varían</p>	<p>suelo contaminado por plomo en la Provincia Constitucional del Callao, ya, se procederá a analizar el plomo presente antes de aplicar la técnica de fitorremediación, después de dos meses se</p>	<p>Concentración de plomo en el suelo</p>	<p>Plomo Final</p>	<p>mg/kg</p>
<p>¿Cuál es la extracción de</p>	<p>Evaluar la extracción de</p>	<p>La extracción de plomo a través de</p>				<p>Parámetros Físicoquímicos</p>	<p>Conductividad</p>	<p>us/cm</p>

	plomo de las hojas y raíces de la ortiga (urtica urens) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en La Provincia Constitucional del Callao, 2018?	plomo en hojas y raíces de la ortiga (urtica urens) después de la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en La Provincia Constitucional del Callao, 2018.	las hojas y raíces de la ortiga (urtica urens) es altamente significativa después de la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en La Provincia Constitucional del Callao, 2018		del suelo(orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos, sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. (AGUDELO, 2005, p.59)	volverá a analizar el suelo para verificar si el plomo fue absorbido por la planta y mejoro la calidad del suelo.		pH	0-14
								Temperatura	°C

Fuente: elaboración propia, 2017

ANEXO N° 3

Estándares de calidad Ambiental para Suelo según Canadian Soil Quality Guidelines

SUMMARY TABLES

Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health

Update 7.0

Table 2. Interim remediation criteria for soil ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) that have not yet been replaced by Canadian Soil Quality Guidelines¹.

Parameter	Year released	Land use			
		Agricultural	Residential/ parkland	Commercial	Industrial
General Parameters					
Conductivity [dS/m]	1991	2	2	4	4
pH	1991	6 to 8	6 to 8	6 to 8	6 to 8
Sodium adsorption ratio	1991	5	5	12	12
Inorganic Parameters					
Antimony	1991	20	20	40	40
Beryllium	1991	4	4	8	8
Boron (hot water soluble)	1991	2	—	—	—
Cobalt	1991	40	50	300	300
Fluoride (total)	1991	200	400	2000	2000
Molybdenum	1991	5	10	40	40
Silver	1991	20	20	40	40
Sulphur (elemental)	1991	500	—	—	—
Tin	1991	5	50	300	300
Monocyclic Aromatic Hydrocarbons					
Chlorobenzene	1991	0.1	1	10	10
1,2-Dichlorobenzene	1991	0.1	1	10	10
1,3-Dichlorobenzene	1991	0.1	1	10	10
1,4-Dichlorobenzene	1991	0.1	1	10	10
Styrene	1991	0.1	5	50	50
Phenolic Compounds					
Chlorophenols ^a (each)	1991	0.05	0.5	5	5
Nonchlorinated ^b (each)	1991	0.1	1	10	10
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)					
Benzo(a)anthracene	1991	0.1	1	10	10
Benzo(b)fluoranthene	1991	0.1	1	10	10
Benzo(k)fluoranthene	1991	0.1	1	10	10
Dibenz(a,h)anthracene	1991	0.1	1	10	10
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	1991	0.1	1	10	10
Phenanthrene	1991	0.1	5	50	50
Pyrene	1991	0.1	10	100	100

ANEXO N° 4

FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

FOTO N° 1: CALICATA PARA RECOLECTAR LA MUESTRA



FOTO N° 2: LIMPIEZA DE LA MUESTRA



FOTO N° 3: 09 MUESTRAS FUERON TRANSPLANTADAS



FOTO N° 4: SE UTILIZARAN 05 ALEATORIAMENTE PARA LA INVESTIGACIÓN



FOTO N° 5: ORTIGA EN EL PROCESO DE ADAPTACIÓN



FOTO N° 6: MONITOREO DE CRECIMIENTO DE LA ORTIGA



FOTO N° 7: CONTEO DE HOJAS DE R5



FOTO N° 8: CRECIMIENTO DE OTRAS ORTIGAS



FOTO N° 9: MUESTRAS FINALES



FOTO N° 10: MEDICIÓN DE LA RAÍZ



FOTO N° 11: MEDICIÓN DE TAMAÑO FINAL DE LA ORTIGA

