

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA  
ESCUELA DE POSTGRADO  
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS  
CONTAMINADOS CON PLOMO UTILIZANDO  
*Amaranthus spinosus* – Amaranthaceae EN  
CUSCO DEL 2012

TESIS PRESENTADA POR:  
M.Sc. GRETA MARGOT PAIVA PRADO  
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES.

AREQUIPA - PERÚ

2015

## DEDICATORIA

**A Ti Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, gracias por tu inmensa bondad.**

**A la memoria de mis queridos padres Oscar y Brianda, que desde el cielo me acompañan.**

**A mis queridos hijos William, Katherine y Cristel por acompañarme y compartir conmigo esta etapa de mi vida.**

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

A la Escuela de Postgrado de la UCSM por permitirme formar parte de su selecto grupo de estudiantes de doctorado.

Al consejo de jurados:

Al Dr. Ebingen Villavicencio Caparó, por sus valiosos aportes y sugerencias durante el proceso de elaboración de la presente tesis.

A los Señores doctores dictaminadores de la tesis: Dr. Benjamín Dávila Flores, Dr. Edwin Bocardo Delgado, por su dedicación y valiosas observaciones y sugerencias en la revisión de este trabajo de investigación.

Al Dr. Jorge Bernedo Paredes, por su apoyo en la revisión del documento durante el proceso de elaboración de la presente investigación

Al Ing. Mario Cumpa Cayuri, docente de la Facultad de Química de la UNSAAC por brindarme todo su apoyo y, sugerencias en la realización de los análisis de Laboratorio.

A los estudiantes, Karol Zárate Cárdenas y Alex Nina Quispe, por su apreciable ayuda en los trabajos de invernadero, así como en la preparación de las muestras de suelo y de las plantas.

Hemos vivido mucho tiempo con la idea de que la naturaleza era un bien inagotable gratuito y eterno. Hoy descubrimos por el contrario que la naturaleza no es un bien inagotable, sino un bien caro, no gratuito, y si cada vez más caro de proteger, y no eterno, sino temporal, pues es muy frágil y corre el riesgo de desaparecer, llevándose consigo, en esta extinción, a la humanidad entera. La contaminación del medio ambiente se ha convertido en uno de los fenómenos esenciales de nuestra civilización. La humanidad se autodestruye

PHILIPPE SAINT MARC



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	9
INTRODUCCIÓN .....	11
CAPÍTULO I .....	14
RESULTADOS y DISCUSIONES.....	14
1.1. DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL DESARROLLO DE <i>Amaranthus spinosus</i> .....	14
1.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE PLOMO POR LA RAÍZ, TALLO, HOJAS E INFLORESCENCIA DE <i>Amaranthus spinosus</i> .....	16
1.2.1. ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA Y CUANTIFICACIÓN DEL PLOMO.....	16
1.3. ABSORCIÓN DEL METAL PESADO PLOMO POR <i>Amaranthus spinosus</i> DESARROLLADO EN SUELOS CONTAMINADOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO .....	21
1.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	22
1.4.1. ANÁLISIS DE VARIANZA FACTORIAL: .....	22
MODELO LINEAL GENERAL UNIVARIANTE .....	22
CONCLUSIONES 36	
RECOMENDACIONES.....	37
CAPÍTULO II .....	40
PROPUESTA .....	40
FITORREMEDIACIÓN, PARA LA RESTAURACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO DEL RELLENO SANITARIO DE KEHUAR - ANTA	40
2.1. PREÁMBULO.....	40
2.2. PROBLEMATICA .....	41
2.3. JUSTIFICACIÓN .....	42
2.4. OBJETIVO GENERAL .....	42
2.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	43
2.5. HIPÓTESIS .....	43
2.6. MARCO TEÓRICO .....	43
2.6.1. ESQUEMA DE CONCEPTOS BÁSICOS.....	43
2.6.2. RELLENO SANITARIO .....	46
2.6.3. CONTAMINACIÓN DE SUELOS .....	47
2.6.4. PLOMO.....	49

2.6.5. ESPECIE BOTÁNICA COMO FITORREMIADORA.....	50
2.7. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	50
2.8. AREA DE ESTUDIO.....	50
2.8.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	51
2.8.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA PROPUESTA.....	51
2.9. METODOLOGÍA: TÉCNICA, INSTRUMENTOS.....	54
2.10.- RECURSOS.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61
PAGINAS WEB.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°1 Características Físico Químico del suelo utilizado en el experimento de <i>Amaranthus spinosus</i> .....	16
TABLA N°2 Lectura por espectroscopia de AA, de la raíz.....	17
TABLA N°3 Lectura por espectroscopia de AA, del tallo y hojas.....	18
TABLA N°4 Lectura por espectroscopia de AA, de la inflorescencia.....	19
TABLA N5 Resultados de la Absorción de Plomo.....	20
TABLA N°6 Resultados ordenados de absorción de plomo en mg/ kg. de materia seca.....	21
TABLA N°7 Prueba de Normalidad.....	22
TABLA N°8 Prueba de F Para Igualdad de Varianzas del Error.....	23
TABLA N°9 Prueba de Homogeneidad de Varianza.....	23
TABLA N°10 Resultados de Absorción de Plomo Transformados por la Raíz Cuadrada $x + 1$ .....	24
TABLA N°11 Análisis de Varianza.....	25
TABLA N°12 ANVA.....	25
TABLA N°13 Medias Observadas y Desviaciones estándar.....	27
TABLA N° 14 Prueba de Tukey Para Absorción del Contaminante Plomo por Partes de la Planta.....	28
TABLA N°15 Prueba de Tukey Sub Conjuntos Homogéneos.....	29
TABLA N°16 Prueba de Tukey Para Concentraciones.....	30
TABLA N°17 Prueba de Tukey Factor B Frente a la Absorción de Plomo.....	31

## RESUMEN

La mayor problemática ambiental que actualmente viene atravesando el planeta tierra es la contaminación de los suelos por metales pesados que son herencia del uso excesivo e indiscriminado de sustancias químicas como los plaguicidas fertilizantes en la actividad agrícola, la fabricación de pinturas, barnices, las actividades mineras y metalúrgicas que han venido contaminando los ecosistemas y especialmente los cuerpos de agua, suelo, aire, con residuos de metales como el Cu, Zn, Pb, Cd, As, Cr, Hg, productos estos que no se degradan y, en el tiempo siguen acumulándose provocando efectos negativos en los organismos principalmente en las plantas para luego pasar a los animales y al hombre generando impactos negativos en el ambiente. Este problema ha generado el interés de muchos investigadores que se han enfocado hacia el desarrollo de nuevas tecnologías una de ellas es la fitorremediación considerada como una alternativa para el tratamiento de los suelos contaminados con metales pesados, en las últimas décadas ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo útil para remediar simultáneamente una serie de contaminantes. Con base en lo anterior el principal objetivo de la presente investigación es evaluar la capacidad de absorción y acumulación de plomo por la raíz, tallo, hojas e inflorescencia en *Amaranthus spinosus* (jatacco silvestre, opa jatacco ojo de pescados) sometido a diferentes concentraciones de este metal.

El experimento se realizó en las instalaciones del invernadero de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNSAAC, en macetas con un suelo de textura franco que se contaminó artificialmente con, 0 (testigo), 200, 400 y 600 ppm de Pb/Kg-1 de suelo a partir del acetato de plomo (CH<sub>3</sub>-COO)<sub>2</sub>Pb. Las macetas fueron distribuidas con estadístico de bloques randomizados con arreglo factorial de 3 x 4 con 4 repeticiones, después de 20 días de ocurrida la contaminación se procedió a transplantar las plántulas de *Amaranthus spinosus*, una plántula por maceta, a partir del cual se inició con las observaciones de los factores ambientales y del crecimiento propio de la especie. A los 136 días culminados la floración se extrajo en forma completa la

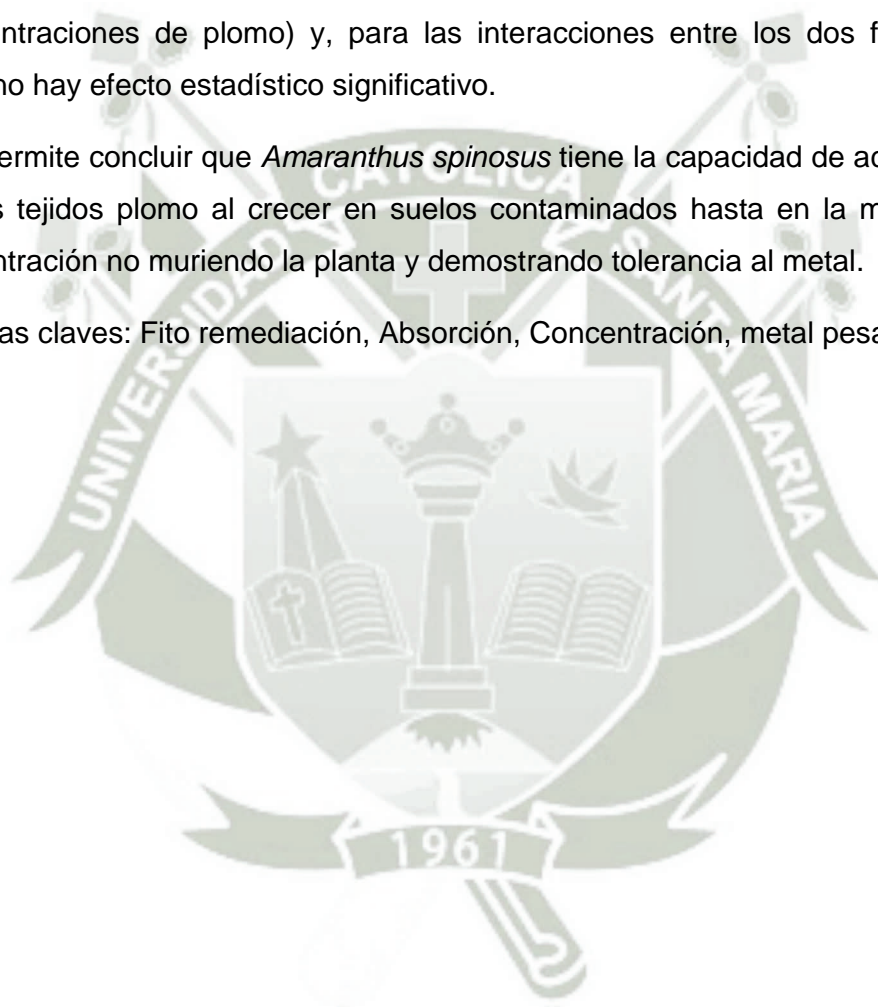


planta y, posteriormente ser separada en raíz, tallo, hojas e inflorescencia y, ser sometida a los análisis de absorción de plomo mediante el método de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA). El análisis estadístico se realizó mediante el software IBM SPSS Statistics Versión 20. Se aplicó el análisis de varianza factorial a través del Modelo lineal univariante ANOVA, la comparación de medias a través de la prueba de Tukey.

Los resultados indican en el análisis de varianza la prueba de F, muestra alta significación para el factor A (partes de la planta), para el factor B (concentraciones de plomo) y, para las interacciones entre los dos factores (A\*B) no hay efecto estadístico significativo.

Esto permite concluir que *Amaranthus spinosus* tiene la capacidad de acumular en sus tejidos plomo al crecer en suelos contaminados hasta en la más alta concentración no muriendo la planta y demostrando tolerancia al metal.

Palabras claves: Fito remediación, Absorción, Concentración, metal pesado





## ABSTRACT

Greater environmental problems that currently comes across planet Earth is the contamination of soils by heavy metals that are the legacy of the excessive and indiscriminate use of chemicals such as pesticides fertilizers in agriculture, the manufacture of paints and varnishes mining and metallurgical activities that have been polluting ecosystems and especially water bodies soil, air, with scrap metals such as Cu, Zn, Pb, Cd, As, Cr, Hg, these products that do not degrade and time continue to accumulate causing negative effects on the organisms mainly in plants then move the animals and man generating negative impacts on the environment.

This issue has generated the interest of many researchers who have focused on the development of new technologies is considered phytoremediation as an alternative for the treatment of soils contaminated with heavy metals, in recent decades has acquired boom as a passive procedure useful to remedy a number of pollutants simultaneously. Based on the above the main objective of this research is to assess the capacity of lead uptake by the root, stem, leaves and inflorescence in *Amaranthus spinosus* (jatacco wild, opa jatacco fish eye) subjected to different concentrations of this metal.

The experiment was conducted on the premises of the greenhouse of the Faculty of biological sciences of the UNSAAC, in pots with a loam texture soil which I were artificially contaminated with 0 (control), 200, 400 and 600 ppm for Pb / Kg-1 of soil from (CH3-C00) 2 Pb. lead acetate pots were distributed with statistics blocks randomized with a factorial arrangement of 3 x 4 with 4 replications After 20 days of occurred pollution were to transplant the seedlings of *Amaranthus spinosus*, a seedling per pot, from which began with observations of environmental factors and the growth of the species. The 136

days culminated bloom was extracted in a complete plant and subsequently detached in root, stem, leaves and inflorescence, and be subjected to the analysis of absorption of lead by using the method of mass spectrometry of atomic absorption (AAS).

The statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics Version 20 software. Applied analysis of variance factor through the univariate linear model ANOVA, the comparison of means through test Tukey.

The results indicate in the analysis of variance the F test, shows high significance for the factor (parts of the plant), factor B (lead concentrations) and, the interactions between the two factors (A \* B) no significant statistical effects.

This leads to the conclusion that *Amaranthus spinosus* has the ability to accumulate in their tissue lead to grow in soils contaminated even at the highest concentration not dying plant and proving to tolerance to metal.

Key words: phytoremediation, absorption, concentration, heavy metal

## INTRODUCCIÓN

Señor Presidente y Srs. Miembros del jurado: Pongo a vuestra consideración el presente trabajo de investigación titulado: FITORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO UTILIZANDO *Amaranthus spinosus* – Amaranthaceae EN CUSCO 2012.

En la actualidad el tema ambiental es el más discutido y de mayor importancia tanto para los países del norte como los del sur , genera polémicas así como preocupación tanto en el intercambio de conocimientos como en el tecnológico y financiero a nivel Internacional, Nacional, Regional y Local. Por lo que la mayoría de proyectos presentan como un aspecto prioritario el componente ambiental , una de las preocupaciones en relación a las consecuencias del deterioro ambiental es la contaminación de los suelos, aguas subterráneas y la vulnerabilidad que presentan los ecosistemas. El suelo es uno de los recursos naturales más importantes de ellos depende en gran parte la economía de los países, sin embargo a través del tiempo se ha tornado en el más vulnerable por tanto se hace necesario trabajar en su manejo, conservación y, remediación.

El desarrollo de la industria minera, metalúrgica, fundiciones, las fábricas de pinturas, barnices, cosméticos, diésel, baterías, plaguicidas y, fertilizantes, los botaderos de residuos sólidos, todas éstas actividades han ido contaminando con metales pesados como zinc, plomo, arsénico, cadmio los ecosistemas, lo que implica considerables daños a los suelos ya que pueden ser absorbidos por las plantas hasta concentrarse en sus tejidos a niveles tóxicos. Tal situación puede ser una vía de entrada de estos metales en las cadenas tróficas humanas a través del consumo directo o indirecto de las plantas. (Rodríguez, O.2006)

El plomo es uno de los metales más conocidos desde la antigüedad y está ganando considerable importancia como un potente contaminante ambiental,



altamente tóxico para el hombre. Su presencia en el ambiente se debe principalmente a actividades antropogénicas, especialmente en la minería y al uso de la gasolina con plomo y la disposición inadecuada de desechos industriales, fabricación de pinturas, barnices, baterías (Chaney y Ryan, 1994). El plomo originado de dichas actividades puede permanecer como residuo por 1000 a 3000 años en los suelos de clima templado, dicho metal se acumula en las capas superficiales del suelo y, por lo tanto, es difícil medir confiablemente su concentración, su disponibilidad depende de las condiciones del suelo, como el tamaño de la partícula, la capacidad de intercambio catiónico y de factores de las plantas, como la superficie y exudados de la raíz, a lo que se le llama la micorrización y de la transpiración. (Davies, 1995).

Para evaluar y extraer la cantidad de metales pesados que se encuentran en los suelos (plomo, cadmio zinc, arsénico) se están utilizando especies de plantas encargadas de extraer estos metales del suelo, considerada como una de las tecnologías más útiles conocida como la fitorremediación es una nueva alternativa tecnológica de biorremediación, que puede utilizarse para degradar, extraer, inmovilizar y recuperar los suelos contaminados y cualquier otro tipo de material que contengan contaminantes (Ébanko y Dzombak, 1997). La fitorremediación como técnica de tratamiento está cobrando mucha importancia debido a su eficiencia en cuanto a costos además es una tecnología ambientalmente amigable, no utilizan reactivos químicos peligrosos no afecta negativamente a la estructura del suelo, solo se genera una cobertura "verde" que es más agradable estéticamente.

Es importante entender que el objetivo último de la fitorremediación de suelos contaminados no debe ser solamente eliminar el contaminante o, reducir su concentración hasta límites marcados en una legislación, sino recuperar o acercarse al estado óptimo de un suelo que posteriormente cumpla sus funciones de forma sostenible especialmente para la agricultura y, otros usos.

Al igual que en la mayor parte del país, los suelos en la Región de Cusco, Apurímac y, Madre de Dios se encuentran cada vez más expuestos a estos contaminantes de metales pesados especialmente por la minería generando una amenaza a la salud de los suelos, plantas y el hombre. Estas razones han

motivado la realización del presente trabajo, se utilizó la especie *Amaranthus spinosus* como la especie fitorremediadora, la cual fue sometida a diferentes concentraciones de plomo en suelos contaminados artificialmente bajo condiciones de invernadero. Así mismo se evaluó la absorción del plomo en las diferentes partes fisiológicas de la planta. Raíz, tallo, hojas e inflorescencia.

Arequipa, diciembre 2015

La Autora



## CAPÍTULO I

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 1.1. DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL DESARROLLO DE *Amaranthus spinosus*

##### a. Temperatura.

Durante el desarrollo experimental del proceso de fitorremediación de suelos contaminados en el invernadero de la Facultad de ciencias Biológicas de la UNSAAC, se registró la temperatura del ambiente cada quince días con un termómetro ambiental, la que fluctúa entre Temperatura máxima de 28.5°C y una temperatura mínima de 15.9°C (Anexos N° 1)

##### b. HUMEDAD.

Es un parámetro que ha sido monitoreado cada 4 días mediante la aplicación de 2 litros de agua con la finalidad que las plantas de *Amaranthus spinosus* no presenten problemas de estrés hídrico y evitando la lixiviación, alcanzando una humedad de 75 a 80 % a capacidad de campo.

##### c. pH.

El pH del suelo se encuentra en un 5.2 ligeramente ácido (cuadro N°1) esta condición estaría favoreciendo directamente a la absorción del plomo por parte de la planta, ya que el pH es uno de los parámetros principales que condiciona el proceso de absorción de los metales en el suelo su actividad y disponibilidad afecta a los procesos de ingreso del metal a las raíces de las plantas, a pH bajos se produce desorción de los metales pesados generando una biodisponibilidad del metal (Lassat, 2001) en este caso el pH



ligeramente ácido ha contribuido en la absorción del plomo por parte de *Amaranthus spinosus*.

#### d. Suelo.

Siendo el sustrato suelo un medio natural de soporte e importante para el desarrollo de las plantas terrestres, depósito de nutrientes y actuar como un regulador natural que controla el transporte de los elementos y sustancias a la biota, es el factor importante para obtener un buen rendimiento y calidad del producto.

Es precisamente las características físicas y químicas que presenta el suelo utilizado en el experimento es que favorece a la especie *Amaranthus spinosus* en el proceso de absorción de los nutrientes y del metal plomo presente en el suelo.

Las determinaciones obtenidas (Cuadro N°1) indica que en relación a la granulometría el suelo es de textura franco, son suelos considerados de importancia agrícola su capacidad retentiva de agua es normal.

En cuanto al contenido de materia orgánica la muestra se encuentra en un término medio con 3.4 % (M) parámetro este que estaría contribuyendo en gran medida en la absorción del metal, por cuanto siendo considerado por muchos investigadores que la materia orgánica es un complejo positivo en la agregación del suelo y un contribuyente en el aporte de nutrientes es que favorece a la absorción (Kabata, Pendias. 2004), así mismo, está formado por compuestos alifáticos y aromáticos que contienen un gran número de grupos funcionales (amino, carboxilos, carbonilo, alcohol, fenoles) susceptibles de enlazarse con los metales pesados u otros componentes de la fase líquida del suelo, (García y Dorronsoro, 2005), aspectos estos que probablemente han contribuido para que el metal se encuentre biodisponible y ser absorbido por la planta en las cantidades que se indican en la tabla 2,3 y,4.

**TABLA N°1 Características Físico Químico del suelo utilizado en el experimento de *Amaranthus spinosus***

Características	Valor	Interpretación
pH	5.2	Ligeramente ácido
CE (Mmhos/cm)	231.00	Normal
M.O. %	3.4	Medio
Nitrógeno total %	0.168	Medio
Fósforo total ppm.	68	Alto
Potasio ppm (K <sub>2</sub> O)	56	Bajo
CIC meq/Kg	11.4	Medio
C %	1.28	C/N
Textura		
Arcilla %	25	
Limo %	33	Suelo Franco
Arena %	42	

Fuente: Propia, elaborado en base a datos trabajados en el laboratorio de Química UNSAAC 2011.

## 1.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE PLOMO POR LA RAÍZ, TALLO, HOJAS E INFLORESCENCIA DE *Amaranthus spinosus*

### 1.2.1. ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA Y CUANTIFICACIÓN DEL PLOMO.

El contenido de plomo en *Amaranthus spinosus*(raíz, tallo, hojas e inflorescencia) se cuantificó, después del proceso de digestión ácida, al cual fueron sometidas las muestras, por Espectroscopia de Absorción Atómica.

**TABLA N°2 Lectura por espectroscopia de AA, de la raíz.**

Código	Transmitancia	mg/L de Pb.
I C1R	98	1.3
IC2R	93	3.3
IC3R	90	4.8
I TP	100	0.0
IIC1R	98	1.3
IIC2R	95	2.2
IIC3R	93	3.1
IITP	100	0.0
IIIC1R	99	1.0
IIIC2R	95	2.2
IIIC3R	90	4.8
IIITP	100	0.0
IVC1R	94	3.0
IVC2R	95	2.2
IVC3R	93	3.3
IV TP	100	0.0

Fuente: Propia, elaborado en base a datos de laboratorio



1

**TABLA N°3 Lectura por espectroscopia de AA, del tallo y hojas**

<b>Código</b>	<b>Transmitancia</b>	<b>mg/L de Pb</b>
IC1TH	99	1.0
IC2TH	98	1.3
IC3TH	98	1.3
IIP	100	0.0
IIC1TH	98	1.3
IIC2TH	95	2.2
IIC3TH	98	1.3
IIP	100	0.0
IIIC1TH	99	1.1
IIIC2TH	98	1.2
IIIC3TH	95	2.2
IIIP	100	0.0
IVC1TH	99	1.0
IVC2TH	99	1.1
IVC3TH	97	1.8
IVIP	100	0.0

Fuente: Propia, elaborado en base a datos de laboratorio

**TABLA N°4 Lectura por espectroscopia de AA, de la inflorescencia**

<b>Código</b>	<b>Transmitancia</b>	<b>mg/L de Pb</b>
<b>IC1Y</b>	99	0.5
<b>IC2Y</b>	98	1.3
<b>IC3Y</b>	98	1.3
<b>ITP</b>	100	0.0
<b>IIC1Y</b>	99	0.5
<b>IIC2Y</b>	99	0.5
<b>IIC3Y</b>	98	1.2
<b>IITP</b>	100	0.0
<b>IIIC1Y</b>	99	1.1
<b>IIIC2Y</b>	99	0.7
<b>IIIC3Y</b>	98	1.2
<b>IIITP</b>	100	0.0
<b>IVC1Y</b>	99	0.5
<b>IVC2Y</b>	99	0.5
<b>IVC3Y</b>	99	0.7
<b>IVTP</b>	100	0.

Fuente: Propia, elaborado en base a datos de laboratorio

La lectura de la transmitancia fue transcrita a la concentración de plomo en miligramos por litro (mg/L de Pb) en función a la curva patrón de plomo (Anexos, gráfico N°3).

**TABLA N°5 Resultados de la Absorción de Plomo**

MUESTRA	CODIGO	PESO MUESTRA SECA gr.	Vol aforo (ml)	mgr.de Pb absorbido
1	IC1R	5	50	1.3
2	IC2R	5	50	3.3
3	IC3R	5	50	4.8
4	ITP	5	50	0
5	IC1TH	5	50	1.0
6	IC2TH	5	50	1.3
7	IC3TH	5	50	1.3
8	ITP	5	50	0
9	IC1Y	5	50	0.5
10	IC2Y	5	50	1.3
11	IC3Y	5	50	1.3
12	ITP	5	50	0
13	IIC1R	5	50	1.3
14	IC2R	5	50	2.2
15	IIC3R	5	50	3.1
16	IITP	5	50	0
17	IIC1TH	5	50	1.3
18	IIC2TH	5	50	2.2
19	IIC3TH	5	50	1.3
20	IITP	5	50	0
21	IIC1Y	5	50	0.5
22	IIC2Y	5	50	0.5
23	IIC3Y	5	50	1.2
24	IITP	5	50	0
25	IIIC1R	5	50	1.0
26	IIIC2R	5	50	2.2
27	IIIC3R	5	50	4.8
28	IIITP	5	50	0
29	IIIC1TH	5	50	1.1
30	IIIC2TH	5	50	1.2
31	IIIC3TH	5	50	2.2
32	IIITP	5	50	0
33	IIIC1Y	5	50	1.1
34	IIIC2Y	5	50	0.7
35	IIIC3Y	5	50	1.2
36	IIITP	5	50	0
37	IVC1R	5	50	3.0
38	IVC2R	5	50	2.2
39	IVC3R	5	50	3.3
40	IVTP	5	50	0
41	IVC1TH	5	50	1.0
42	IVC2TH	5	50	1.1
43	IVC3TH	5	50	1.8
44	IVTP	5	50	0
45	IVC1Y	5	50	5
46	IVC2Y	5	50	5
47	IVC3Y	5	50	7
48	IVTP	5	50	0

Fuente: Datos de laboratorio Química LAB- Cusco

La tabla 5, muestra los resultados de absorción de plomo en miligramos que presentó *Amaranthus spinosus* en relación al peso seco en gramos de cada muestra y al volumen aforado (50 ml).



### 1.3. ABSORCIÓN DEL METAL PESADO PLOMO POR *Amaranthus spinosus* DESARROLLADO EN SUELOS CONTAMINADOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Las concentraciones de plomo absorbidas por las diferentes estructuras de la planta raíz (A1), tallo y hojas (A2) e inflorescencia (A3)) sometidas a suelos con diferentes concentraciones de plomo (0, ppm/Kg<sup>-1</sup> de suelo (B1), 200ppm/Kg<sup>-1</sup> de suelo (B2), 400ppm/Kg<sup>-1</sup> de suelo (B3), 600ppm/Kg<sup>-1</sup> de suelo (B4) se evaluó mediante una análisis de varianza factorial a través del procedimiento : Modelo lineal univariante, que incluye las posibles combinaciones de factores que se observan en el siguiente cuadro.

**TABLA N°6 Resultados ordenados de absorción de plomo en mg/ kg. de materia seca**

BLOQUES	A1				A2				A3				TOTAL BLOQUES
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	
I	0	13	33	48	0	10	13	13	0	5	13	13	161
II	0	13	22	31	0	13	22	13	0	5	5	12	136
III	0	10	22	48	0	11	12	22	0	11	7	12	155
IV	0	30	22	33	0	10	11	18	0	5	5	7	141
TOTAL TRATAMIENTOS	0	66	99	160	0	44	58	66	0	26	30	44	593
	A1=325				A2=168				A3=100				
<b>BLOQUE</b>	<b>B1=0</b>				<b>B2=136</b>				<b>B3=187</b>				<b>B4=270</b>

Fuente: Propia, elaborado en base a los datos registrados en anexo 2

Se observa en la tabla n° 6, el tratamiento B1 que viene a ser el testigo el cual no recibió ninguna dosis de plomo, la planta no absorbe nada, por lo tanto en todas las partes vegetativas presentan 0 de acumulación de plomo y esto hace que se produzca un sesgo en los datos.

## 1.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### 1.4.1. ANÁLISIS DE VARIANZA FACTORIAL:

#### MODELO LINEAL GENERAL UNIVARIANTE

Para el análisis correcto del conjunto de datos procedentes de los resultados de absorción de plomo (tabla N° 6), es preciso la determinación de los supuestos básicos: que son la Normalidad y Homocedasticidad (homogeneidad de Varianzas).

**TABLA N°7 Prueba de Normalidad**

	Partes vegetativas de la planta	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Absorción de Plomo	A1 (Raíz)	0,145	16	0,200*	0,917	16	0,150
	A2 (Tallo y Hojas)	0,223	16	0,033	0,875	16	0,033
	A3 (Inflorescencia)	0,165	16	0,200*	0,876	16	0,034

Fuente: Elaboración propia

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la Tabla 7. Se determinó considerando al testigo como se observa que los gl son 48, por tanto cumple con el supuesto de normalidad pues en A1  $p=0.200 > 0.05$ , A3 tiene  $p=0.200 > 0.05$  y en el caso de A2  $p=0.033 < 0.05$  pero esto hace suponer que tiene una tendencia a la normalidad.

Como siguiente paso se aplicó el supuesto de homogeneidad, ya que es necesario que cumpla ambos supuestos antes de iniciar con el modelo ANVA para tener una seguridad y, cumplir con este propósito se aplicó la prueba del estadístico de Lévene

**TABLA N°8 Prueba de F Para Igualdad de Varianzas del Error**

Variable dependiente: Absorción de Plomo

F	gl 1	gl2	Sig.
6,513	11	36	0,000

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

Como se observa en la tabla 8, el resultado de la prueba de Lévene da una significancia  $p = 0.000 < 0.05$  nos indica que No se puede asumir una **homogeneidad de varianzas** de las observaciones en los tres grupos implicados, por tanto se aplica una prueba robusta que permita determinar la homogeneidad, para lo que se aplicó la prueba de Lévene.

**TABLA N°9 Prueba de Homogeneidad de Varianza**

	Estadístico de Lévene	gl1	gl2	Sig.
Absorción de Plomo Se basa en la media	11,827	2	45	0,00
Se basa en la mediana	10,222	2	45	0,00
Se basa en la mediana y con glajustado	10,222	2	27,057	0,00
Se basa en la media recortada	12,122	2	45	0,00

Fuente: Elaboración propia

La tabla 9 muestra los resultados del estadístico de Lévene, a través del cual se observa que la significancia de la media es  $p = 0.000 < 0.05$  tanto en la media y en la mediana.

De ambos resultados de la tabla 8 y tabla 9. Indican que no existe una homogeneidad en las varianzas. Por tanto la falta de independencia de la varianza compromete a realizar una prueba estadística paramétrica como es la de transformación de los datos, utilizando para este caso la  $\sqrt{x + 1}$  de los datos sin considerar al testigo.



**TABLAN°10 Resultados de Absorción de Plomo Transformados  
por la Raíz Cuadrada  $\sqrt{x + 1}$**

Bloque_1	A1 (Raíz)			A2 (tallo y hojas)			A3 (Inflorescencia)		
	B2	B3	B4	B2	B3	B4	B2	B3	B4
I	3,7417	5,8310	7,0000	3,3166	3,7417	3,7417	2,4495	3,7417	3,7417
II	3,7417	4,7958	5,6569	3,7417	4,7958	3,7417	2,4495	2,4495	3,6056
III	3,3166	4,7958	7,0000	3,4641	3,6056	4,7958	3,4641	2,8284	3,6056
IV	5,5678	4,7958	5,8310	3,3166	3,4641	4,3589	2,4495	2,4495	2,8284

Fuente: Propia, Elaborado en base a la tabla N° 6 (sin considerar el testigo)

**ANÁLISIS DE VARIANZA:**

El modelo que se postula para los datos de la tabla 11 es:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \rho_k + E_{ijk}$$

De donde:

$Y_{ijk}$  = es el valor de  $\sqrt{\text{absorción de plomo} + 1}$  de la  $i$  - ésima parte de la planta.

$j$  = Ésima concentración en el  $K$  - ésimo bloque.

$\mu$  = es la media general

$\tau_i$  = es el efecto del factor A (parte de la planta= planta A).

$\beta_j$  = es el efecto del factor B (concentración de plomo = concentración de plomo B).

$(\tau\beta)_{ij}$  = es la interacción de A y B

$\rho_k$  = efecto de bloque.

$E_{ijk} : i = 1, 2, 3$ , (partes de la planta)

$j = 1, 2, 3$  (concentraciones)

$k = 1, 2, 3$  y 4 (bloques)

**TABLA N°11 Análisis de Varianza**

Factores inter-sujetos		N
Bloque_1	I	9
	II	9
	III	9
	IV	9
P Planta _A	A1	12
	A2	12
	A3	12
Concentra Pb _B	200ppm	12
	400ppm	12
	600ppm	12

**TABLA N°12 ANVA**

**PRUEBAS DE LOS EFECTOS INTER-SUJETOS**

Variable dependiente: Absorción (-1) Con raíz cuadrada

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	41,871 <sup>a</sup>	11	3,806	9,761	0,000
Intersección	577,769	1	577,769	1481,537	0,000
Bloque_1	,487	3	,162	,416	0,743
PPlanta_A	28,685	2	14,343	36,778	0,000
Concentra Pb _B	9,311	2	4,656	11,938	0,000
P Planta _A * Concentra Pb_B	3,388	4	p,847	2,172	0,103
Error	9,360	24	,390		
Total	629,000	36			
Total corregida	51,231	35			

Fuente: Elaboración propia

a. R cuadrado = ,817 (R cuadrado corregida = 0,734)

La tabla N° 12 muestra el análisis de varianza, observándose que si existen diferencias significativas en la absorción de plomo tanto entre las partes de la planta como entre las concentraciones pues se observa que el valor de sig.  $P = 0.000 < 0.05$ , siendo 0.05 el nivel de significación  $\alpha$ . Por tanto existe diferencia significativa alta en la absorción del plomo por las diferentes estructuras de la planta factor A (raíz, tallo, hojas e inflorescencia) así como en el factor B (concentraciones 200, 400 y 600 ppm.). Con respecto a las interacciones (partes .la planta \* concentraciones) no hay efecto estadístico significativo, indicando que a medida que la concentración de plomo aumenta, la planta sigue absorbiendo plomo sin presentar ningún síntoma de respuesta negativa a algún factor, considerándose a la especie *Amaranthus spinosus* con una alta ventaja desde el punto de vista ambiental y económico como una especie prometedora en fitorremediación.

Así mismo como  $R^2 = 0.817$ , indica que los tres efectos incluidos en el modelo: Diseño: Interceptación + Factor A + Factor B + Factor A \* Factor B + bloques explican que en un 81.7% de la varianza de la variable dependiente se da por la absorción de plomo por partes de la planta y, el 18.3 % se puede deber a otros factores.

Un resultado similar fue obtenido por Rodríguez, O. et al, (2006) estos investigadores en su trabajo “Capacidad de 6 especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados” afirman que en el análisis de varianza no hubo diferencias significativas entre especies, a excepción del testigo sin plomo, lo cual no sucedió en las demás dosis de plomo (500mg y 1000 mg de Pb). revela que el conjunto de especies vegetales de las cuales se desea conocer su potencial de acumulación sometidas a crecientes dosis de metal pesado con  $500 \text{ mg/kg}^{-1}$  de suelo, la mayor acumulación de plomo presentó *Nicotiana tabacum* con 3.027 mg de plomo, mientras que *Ricinus communis* y *Cenchrus ciliaris* solo acumularon 2.78 y 2.22 mg de plomo respectivamente y, en el tratamiento con  $1000 \text{ mg de Pb/kg}^{-1}$  de suelo, *Ricinus communis* acumuló 6.8mg de Pb, y *Sorghum sudanense* acumuló 2.8 veces menos



Pb que *R.communis* determinando que las especies presentaron una tendencia a acumular más plomo a medida que se incrementa la dosis del metal en el suelo, la especie *Nicotiana tabacum* no tolera la dosis de 1000 mg de Pb, muere la planta, esto de repente podría ser a los mecanismos de fitotoxicidad de Pb que están relacionados con los cambios en la permeabilidad de las membranas celulares. Alloway (1990) afirma que la toxicidad varía entre genotipos y entre condiciones experimentales.

**Tabla N° 13 Medias Observadas y Desviaciones estándar**

Partes Planta	N1	Media	Desv. Est.	Concent. Pb	N2	Media	Desv. Est.
<b>A1</b>	12	5,17283	1,202	<b>200ppm</b>	12	3,41825	0,841
<b>A2</b>	12	3,84033	0,524	<b>400ppm</b>	12	3,94125	1,07
<b>A3</b>	12	3,00525	0,574	<b>600ppm</b>	12	4,65892	1,399

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 13 muestra las medias y sus desviaciones estándar de los datos transformados de absorción de plomo (Raíz cuadrada de (absorción + 1)). Con estas medias se hacen las pruebas de comparación de medias de Tukey el cual se muestran en la tabla 14 y tabla 15

Variable dependiente: Absorción (-1) = Raíz cuadrada de (absorción + 1)

**TABLA N° 14 Prueba de Tukey Para Absorción del Contaminante  
Plomo por Partes de la Planta**

Variable dependiente: Absorción (-1)

DHS de Tukey

(I)PPlanta_1	(J)PPlanta_1	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
A1	A2	1,332479*	,2549443	0,000	,695810	1,969148
	A3	2,167592*	,2549443	0,000	1,530923	2,804262
A2	A1	-1,332479*	,2549443	0,000	-1,969148	-,695810
	A3	0,835113*	,2549443	0,009	,198444	1,471782
A3	A1	-2,167592*	,2549443	0,000	-2,804262	-1,530923
	A2	-0,835113*	,2549443	0,009	-1,471782	-,198444

Fuente: Datos propios, elaborado en base a las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 0 ,390.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel del 0 ,05.

De la tabla que antecede resalta que la parte de la planta que absorbe mayor cantidad de plomo es la raíz , en consecuencia, si comparamos este elemento del factor A con los otros elementos de este mismo factor , se tiene que:

- La raíz tiene la capacidad de absorber 1,332 veces más que el tallo y las hojas
- La raíz tiene la capacidad de absorber 2,167 veces más que la inflorescencia
- Además el tallo y hojas, tienen la capacidad de absorber 0. 835 veces más que la inflorescencia.

La tabla 14, permite colegir que la absorción del plomo por *Amaranthus spinosus* se realiza a medida que se genera el crecimiento vegetativo, es decir formación de la raíz, tallos hojas hasta llegar a la floración el metal plomo es absorbido en mayor cantidad por la raíz y pasando por translocación a las diferentes partes de la planta.

Esto es corroborado por los datos que aparecen en la tabla que antecede ya que la especie *Amaranthus spinosus* absorbe mayor cantidad de plomo en la

raíz, pasando al tallo, hojas e inflorescencia en menor proporción, no muriendo ningún individuo y demostrando alta tolerancia al metal, esto demuestra que el contenido de plomo en el suelo ha disminuido debido a la absorción realizada por la planta en los 136 días que duró el experimento.

Siendo que el experimento se desarrolló en macetas con un suelo previamente analizado en sus propiedades físicas y químicas (anexo 4) y contaminado con diferentes concentraciones de plomo en forma de acetato de plomo con 200, 400, y 600 mg de Pb/Kg. de suelo. Esto permite considerar a esta especie como tolerante al plomo, los resultados de este trabajo coinciden con los obtenidos por Maqueda. G. (2010) en el sentido que la especie *Beta vulgaris* (acelga), sometida a concentraciones de 50, 75 y 150 mg de Pb/ kg de vermiculita, a los 26 días de análisis acumuló la mayor cantidad de plomo y cadmio en las raíces, más que en la parte aérea.

Investigación realizada por Castillo, P.R y Sánchez. S.E. (1999) quienes evalúan la eficiencia de Fito extracción utilizando tres especies ornamentales de *Pelargonium sp. Pelargonium citronella*, *P. denticulatum*, y un control positivo de *Helianthus annuus* sometidas a concentraciones 1000 y 2500 ppm, de Pb, Cr. Zn. y una mezcla de ellos. Al final del experimento reportan que *Pelargonium Sp.* fue la que presentó mayor capacidad de concentración de plomo en las raíces.

**TABLA N°15: Prueba de Tukey Sub Conjuntos Homogéneos**

Variable dependiente: Absorción (-1)

DHS de Tukey

PPlanta_1	N	Subconjunto		
		1	2	3
A3	12	3,005236		
A2	12		3,840349	
A1	12			5,172828
Sig.		1,000	1,000	1,000

Fuente: Elaboración propia.



Se muestran las medias de los grupos de sub conjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 0,390.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 12,000

b. Alfa = 0,05.

De la tabla 15, se puede observar que los elementos del factor A experimentaron el siguiente comportamiento: Las partes de la planta, A3 inflorescencia forma un solo sub conjunto, igualmente el A2 tallo y hojas forma un segundo sub conjunto y un tercer sub conjunto formado por A1 raíz que hay una diferencia significativa entre los tres niveles de la planta con respecto a la absorción de plomo.

En conclusión para los sub conjuntos se tiene tres comportamientos distintos por las diferentes partes de la planta.

**TABLA N°16 : Prueba de Tukey Para Concentraciones**

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: Absorción(-1)

DHS de Tukey

(I)ConcentraPb_1	(J)Concentra Pb (-1)	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
200ppm	400ppm	-,522948	,2549443	0,122	-1,159617	,113721
	600ppm	-1,240647*	,2549443	0,000	-1,877317	-,603978
400ppm	200ppm	0,522948	,2549443	0,122	-,113721	1,159617
	600ppm	-0,717699*	,2549443	0,025	-1,354368	-,081030
600ppm	200ppm	1,240647*	,2549443	0,000	0,603978	1,877317
	400ppm	0,717699*	,2549443	0,025	0,081030	1,354368

Fuente: Elaboración propia

El término de error es la media cuadrática (Error) = 0,390.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

De la tabla 16 se deduce que la concentración que mayor absorción de plomo presenta es la de 600 ppm/kg de suelo, en consecuencia si se compara este

elemento del factor B con los otros elementos de este mismo factor se tiene que:

- A la concentración de 600ppm / Kg. de suelo absorbe 0,717699 veces más que a la concentración de 400 ppm /kg de suelo.
- A la concentración de 600 ppm/kg de suelo absorbe 1,240647 veces más que a la concentración de 200 ppm / kg de suelo.
- A la concentración de 400 ppm / kg de suelo tiene la capacidad de absorber 0 ,522948 veces más que la concentración de 200 ppm/ kg de suelo

**TABLA N°17: Prueba de Tukey Factor B Frente a la Absorción de Plomo**

**Absorción (-1)**

DHS de Tukey

ConcentraPb_1	N	Subconjunto	
		1	2
200ppm	12	3,418273	4,658920
400ppm	12	3,941221	
600ppm	12		
Sig.		0,122	1,000

Fuente: Elaboración propia

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

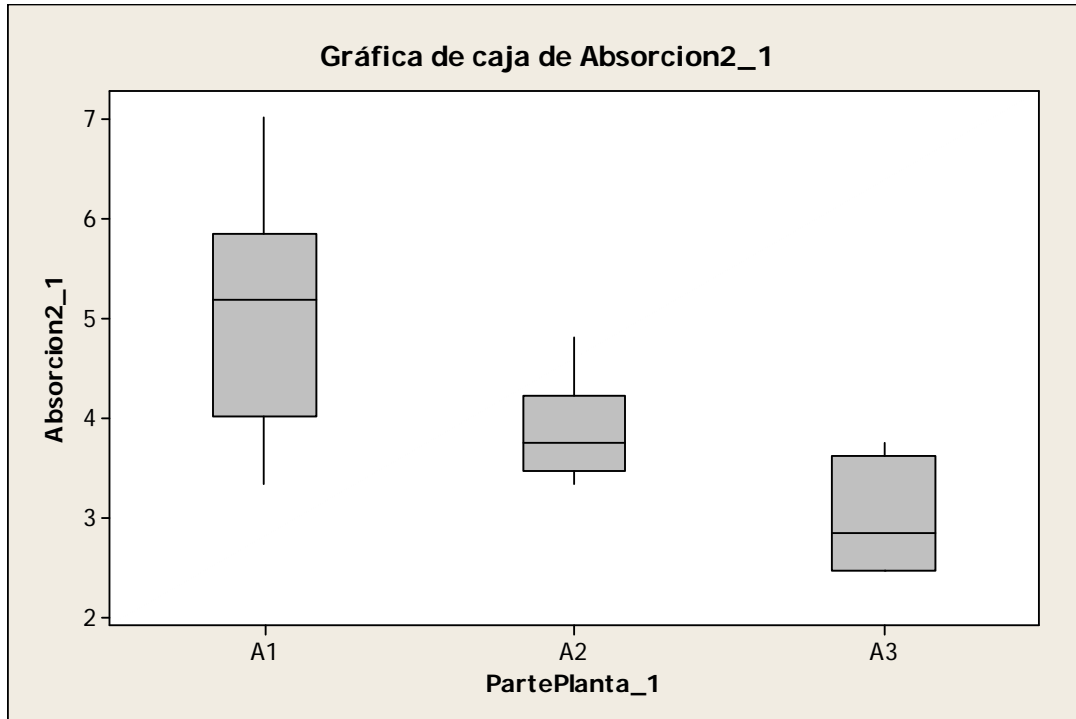
El término de error es la media cuadrática (Error) =0 ,390.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 12,000

b. Alfa = ,05.

A través de la tabla N° 17, se puede observar que de acuerdo al  $t$  del estadístico de Tukey, para concentraciones se tiene un sub sub conformado por las concentraciones de 200 ppm y 400 ppm de Pb/kg.de suelo respectivamente con una diferencia de 0.522948, y un segundo sub conjunto formado por la concentración de 600 ppm de Pb/kg de suelo, con una diferencia al anterior sub conjunto en 0.717699.

**GRÁFICA N° 01**  
**MEDIDAS DESCRIPTIVAS DE LA ABSORCIÓN DE PLOMO POR LAS**  
**DIFERENTES PARTES DE LA PLANTA**



<b>A1 Raíz</b>		<b>A2 Tallo y hojas</b>		<b>A3 Inflorescencia</b>	
Q1	4.00520	Q1	3.46	Q1	2.45
Mediana	5.1818	Mediana	3.7416	Mediana	2.83
Q3	5.8309	Q3	4.2046	Q3	2.605
Rango Interq.	1.8257	Rango Interq.	0.74	Rango Interq.	1.156
Bigote	3.3166-7	Bigotes	3.316 - 4.795	Bigotes	2.45 - 3.741
N	12	N	12	N	12

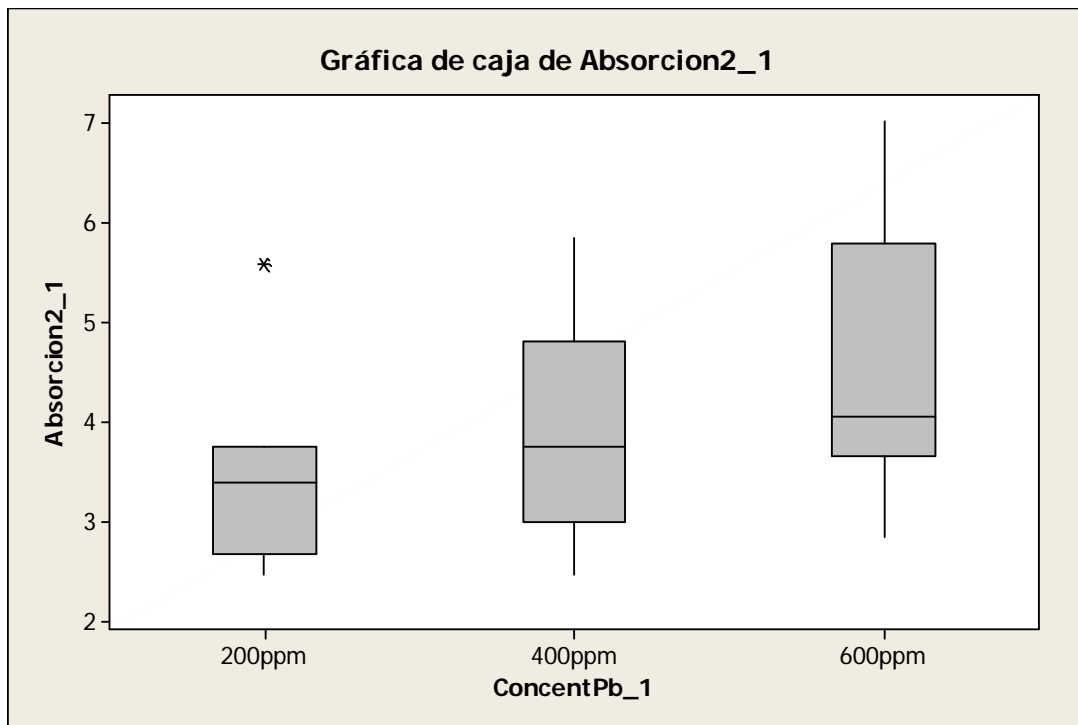
El diagrama de caja que antecede permite describir la distribución de la absorción de plomo por las diferentes partes de la planta de *Amaranthus spinosus*.

Se observa que la distribución están posicionados de diferentes maneras, siendo A1 (raíz) en la que se aprecia la mayor absorción con valores amplios hacia la parte inferior de la caja entre el Q 1 y la mediana con (5.1818 mg/kg de m.s.), y el valor extremo alto aparece hacia la parte superior a partir de la



mediana hasta el Q3 con 5.8309 mg/kg de ms.). Por otro lado la asimetría tiende a disminuir cuando se da en el tallo y hojas A2 donde la mediana está más próxima al Q1, y el bigote (valor inferior) tiende a disminuir sustancialmente; el A3 inflorescencia la mediana se aproxima mucho más al Q1 y el bigote valor inferior desaparece.

**GRÁFICA N° 2**  
**ABSORCIÓN DEL PLOMO POR LA PLANTA A DIFERENTES**  
**CONCENTRACIONES**



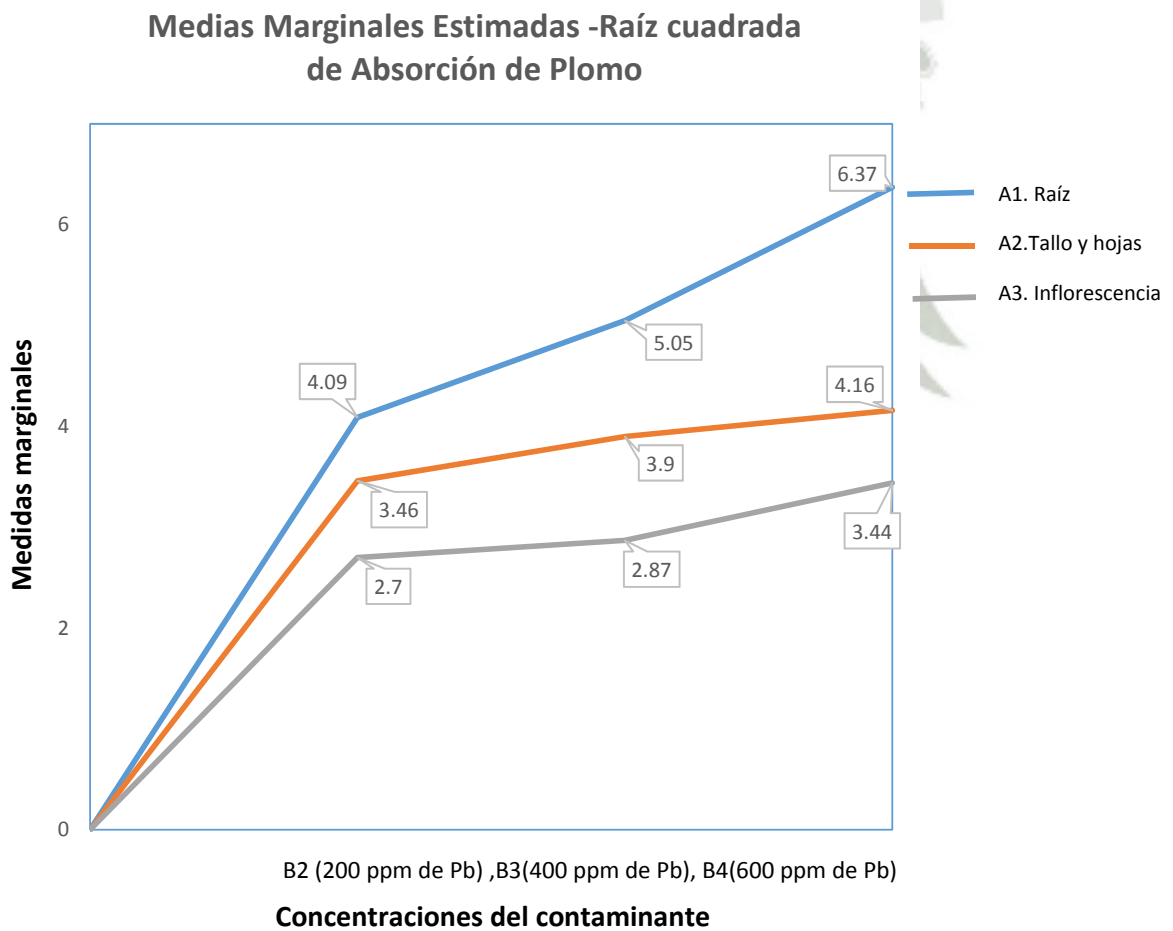
Concentración 200 ppm.		Concentración 400 ppm.		Concentración 600 ppm.	
Q1	2.666	Q1	2.987	Q1	3.64
Mediana	3.39	Mediana	3.741	Mediana	4.05
Q3	3.742	Q3	4.795	Q3	5.79
Rango Interq.	1.075	Rango Interq.	1.808	Rango Interq.	2.15
Bigotes	2.45 – 3.742	Bigotes	2.45 -5.83	Bigote	2.828 - 7
N	12	N	12	N	12

El Gráfico 2, presenta una asimetría bastante diferenciada, a 200 ppm de Pb/kg de suelo la caja es bastante angosta entre (Q1= 2,666 y la mediana 3,39) y apareciendo un dato anómalo; A 400 ppm de Pb/kg de suelo, el valor alto se

observa hacia la parte derecha de la caja (superior) entre (la mediana=3.39 y Q3 = 4,795).

A 600 ppm Pb/kg de suelo, la absorción se da con valores altos hacia la derecha de la caja (parte superior) entre (la mediana = 3.39 y Q3=5.79) y los bigotes con una diferencia bastante amplia mostrando los valores extremos.

**FIGURA N° 3**  
**MEDIAS MARGINALES ESTIMADAS -RAÍZ CUADRADA DE ABSORCIÓN**  
**DE PLOMO**



La figura 3, muestra la evolución de la absorción del plomo por las diferentes estructuras de *Amaranthus spinosus*, sometidas a diferentes concentraciones del contaminante, se observa que la inflorescencia a 200 y 400 ppm de  $\text{Pb}/\text{kg}^{-1}$  de suelo muestra estadísticamente una media muy cercana en la absorción de plomo con una diferencia de las medias en 0.33 como se nota en la figura que antecede. Así mismo se observa que la raíz supera en absorción presentando una diferencia en medias de 2.93 mg de plomo más que la inflorescencia y, 2.21 mg de plomo más que el tallo y hojas. ( ver cuadro n° 10)





## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por *Amaranthus spinosus* en el proceso de absorción de un metal pesado como el plomo experimentado bajo condiciones de invernadero concluye en:

- I. La acumulación del metal por la planta de *Amaranthus spinosus* se dio en mayor proporción en las raíces hasta en la más alta concentración del metal (600 ppm de Pb/Kg de suelo). con una media de 6.37 mg/ Kg. de materia seca y, con una acumulación total de 40 mg/kg de materia seca.
- II. El tallo y hojas de *Amaranthus spinosus* por translocación de la raíz a la parte aérea, acumularon en la más alta concentración (600 ppm de Pb/kg de suelo) un total de 16.5 mg de Pb/kg de materia seca con una media de 4.16.
- III. La inflorescencia por translocación acumuló plomo en la más alta concentración (600 ppm de Pb/kg de suelo) un total de 11 mg/kg de materia seca con una media de 3.44.
- IV. La hipótesis planteada a cerca del uso de *Amaranthus spinosus* en el tratamiento de los suelos contaminados con plomo es aceptada ya que esta planta acumuló el metal en el orden, raíces > tallo y hojas > inflorescencia, sin presentar ningún signo de deterioro de la propia planta. Por este motivo se estaría considerando como una especie más en la lista de plantas fitoremediadoras de suelos contaminados con metales pesados.

*Amaranthus spinosus* presenta alta tolerancia al contaminante plomo desarrollando en forma normal según aumenta la concentración sin presentar ningún estrés a ningún factor, (temperatura, humedad, pH) se puede considerarla como Fito tolerante al contaminante plomo.

Como tendencia general la planta de *Amaranthus spinosus* mostró una acumulación creciente de plomo en sus diferentes estructuras, a medida que la dosis del metal se incrementó en el suelo.

## RECOMENDACIONES

1. Impulsar mayores estudios en forma multidisciplinaria en relación a las especies de plantas híper acumuladoras, para aplicar en áreas altamente contaminadas con metales pesados caso las zonas mineras, fábricas metalúrgicas, botaderos de residuos sólidos, fábricas de baterías etc.
2. Se recomienda que en los procesos de fitorremediación se trabaje con diversas especies que ya se conoce su potencial fitorremediador con el fin de maximizar la extracción de metales pesados.
3. Que los gobiernos y los decisores políticos internalicen la problemática ambiental de la contaminación de diversos ecosistemas por metales pesados, para dar la debida solución y, protección del medio ambiente y de este modo evitar las consecuencias funestas y el costo social que este representa para la sociedad en general.
4. Realizar estudios de biomonitoreo de metales pesados, caso el plomo, en la población directamente expuesta a estos contaminantes mediante muestreo permanente en plantas, animal y el hombre.

## CONTRIBUCIÓN DE LA TESIS AL AVANCE DEL CONOCIMIENTO Y POTENCIALES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

### ➤ Como Contribución se pueden destacar.

El proyecto ha sido enfocado integralmente a conocer si una planta silvestre como el *Amaranthus spinosus* sometida a suelos contaminados artificialmente con diferentes concentraciones del metal pesado plomo, en un sustrato agrícola, de textura franco, con condiciones óptimas para la agricultura tendría la capacidad de acumular el metal en sus diferentes órganos.

El estudio realizado bajo condiciones manejadas de invernadero (temperatura, humedad, pH) y, adicionando al suelo en forma artificial, una sal en forma de acetato de plomo, permitió conocer con exactitud el comportamiento de la planta frente al contaminante y determinar que parte de la estructura de la planta absorbe el metal y en qué cantidad.

-En resumen, es un aporte sustancial al conocimiento tecnológico de la fitorremediación, así mismo se contribuye en sumar una especie más a la lista de plantas acumuladoras de metales pesados caso el plomo. Esto considerando los resultados obtenidos en la investigación.

### ➤ Potenciales Líneas de Investigación.

La presente investigación constituye una respuesta y un aporte a la problemática ambiental que vienen atravesando los suelos, los cuerpos de agua, aire, en el territorio Peruano y, especialmente en la zona sur del Perú como consecuencia de la contaminación por metales pesados producto de las explotaciones mineras en diferentes ciudades del Perú, e industrias de pinturas, barnices, gasolina, fertilizantes, plaguicidas, vertederos, teniendo a la especie *Amaranthus spinosus* que ha respondido eficientemente ante las



diferentes concentraciones de plomo, se hace de necesidad probar esta misma especie con concentraciones más elevadas que las utilizadas en la presente investigación y, poder comparar con otras especies experimentadas en otros países bajo condiciones controladas.

Probar otras especies silvestres de valor latente para la Región del Cusco con un beneficio económico de recuperación de suelos y mejora de los ecosistemas ya que existe muy poca información de usos de plantas de la zona andina en prácticas de fitorremediación.

-Otra investigación sería trabajar con la especie *Amaranthus spinosus* en lugares con niveles altos de concentración en plomo, por encima de los niveles máximos permisibles, como en suelos agrícolas contaminados, suelos industriales, urbanos y, por ejemplo en los alrededores de las mineras, fábricas de baterías en los botaderos de residuos sólidos, es decir in situ. Previamente adicionando quelatos como el EDTA utilizados ya en otras investigaciones (Rojas L. 2010) y, enmiendas orgánicas como el vermi compost que es un material rico en nutrientes y observar la tolerancia y acumulación del metal por la especie.

#### ➤ Manejo y disposición final de la biomasa cosechada

-Otra investigación estaría planteada desde el punto de vista de cómo tratar la biomasa contaminada con metales pesados. Una alternativa sería una vez realizada la cosecha o el corte de la planta con el metal pesado, esta debe de ser incinerada y posteriormente encapsulado en bloques de cemento para no correr el riesgo de contaminación, esto estaría en función a la cantidad de biomasa extraída por hectárea después de realizada la fitorremediación.

## CAPÍTULO II

### PROPUESTA

#### FITORREMEDIACIÓN, PARA LA RESTAURACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO DEL RELLENO SANITARIO DE KEHUAR - ANTA

##### 2.1. PREÁMBULO.

El crecimiento acelerado de las poblaciones y, el vertiginoso desarrollo industrial en las dos últimas décadas han generado serios problemas de contaminación especialmente con la producción de residuos sólidos que es un problema para toda la sociedad en general a nivel mundial, nacional, regional y local . El Perú y la Región del Cusco no es la excepción, el problema radica donde disponerlos y, una de las tantas soluciones es el método del relleno sanitario que conlleva una gran responsabilidad para las autoridades municipales de las provincias y distritos del país. El relleno sanitario de Kehuar del distrito de Anta ha sido una solución en su momento para la disposición final de los residuos sólidos, así como también trae una serie de alteraciones al medio ambiente, ya que después de 7 años de funcionamiento se presentan los problemas sociales con las comunidades campesinas próximas al relleno, especialmente vinculado a la contaminación por los lixiviados generados por el relleno sanitario que en los últimos años no ha sido adecuadamente manejado por las instituciones competentes y, en la actualidad el relleno sanitario al no haber recibido la etapa de cierre este se convierte en un ecosistema potencial de contaminación , del suelo, agua y, aire .

Razón por la cual surge la presente propuesta a fin de que los daños causados a estos ecosistemas sean mitigados y/o restaurados a través de la fitorremediación y dejar los suelos libres de sustancias tóxicas como los metales pesados especialmente el plomo, utilizando para esto una planta como el *Amaranthus spinosus* que fue probada como una especie fitorremediadora en condiciones controladas (invernadero) con resultados bastante

prometedores con una acumulación de  $40 \text{ mg/kg}^{-1}$  de materia seca (Paiva, M. 2015) por lo que esta propuesta se realizará en campo abierto in situ.

## 2.2. PROBLEMATICA

Los residuos sólidos constituyen un problema para todas las sociedades desde las ciudades grandes hasta las pequeñas, así como para toda la población del planeta, el crecimiento exponencial de las poblaciones, las actividades humanas, el consumismo, la industria y, la tecnología ha contribuido con la generación desmesurada de residuos sólidos en todos los países y, hoy para muchas ciudades el problema es, dónde depositarlos, cómo depositarlos?, cuáles serán los riesgos? Preguntas que toda autoridad local debe de asumir y tratar de resolver para evitar problemas sociales.

El distrito de Anta, de la Provincia del mismo nombre, en la actualidad está atravesando un problema social con respecto al relleno sanitario que está ubicado cerca a la comunidad campesina de Kehuar, que después de 7 años de funcionamiento se ha generado conflictos sociales entre los pobladores y la autoridad local, en la actualidad está sin uso, la población reclama y quieren que sean campos recreativos, el problema radica en que no se ha procedido con la etapa de cierre del relleno lo cual con lleva a una serie de problemas ambientales, sociales y de salud, ya que se tiene emanaciones de gases, proliferación de una serie de insectos vectores de enfermedades, lixiviados sin tratamiento, presencia de metales pesados que de acuerdo a su concentración son altamente tóxicos. Teniendo esta problemática surge la alternativa de aplicar la tecnología de fitorremediación de los suelos del relleno y de los alrededores utilizando una especie vegetal como el *Amaranthus spinosus*, para extraer un metal pesado como el plomo, con esta alternativa de restauración no solo se pretende habilitar los suelos sino evitar problemas de salud de las poblaciones cercanas y mejorar el paisaje de esta zona.



### 2.3. JUSTIFICACIÓN

El relleno sanitario de Kehuar del distrito de Anta, Provincia de Anta ha venido funcionando desde el año 2007 y su vida útil estuvo proyectado al 2017, aspecto este que no se cumplió por problemas generados por las poblaciones aledañas al relleno sanitario por lo que dejó de funcionar el 2013, y al momento no se ha hecho ningún sistema de cierre del relleno. Por lo que es necesario tomar acciones de restauración de estos ecosistemas, ya que las comunidades aledañas pretenden utilizarlos como espacio de recreación, por ello el proceso de restauración y/ o fitorremediación debe de ser diseñado.

En esta propuesta de investigación se utilizará una especie que ya ha sido probada en suelos con diferentes concentraciones de plomo y según a las conclusiones que se ha llegado esta especie debe de ser considerada en la lista de plantas acumuladoras de metales pesados caso el plomo, que es la especie *Amaranthus spinosus* (jatacco silvestre, opa jatacco, mula jatacco ojo de pescado, bledo espinoso) , (Paiva,M.2015).

La propuesta se justifica debido a que los resultados obtenidos en la presente investigación podrán ser aplicados en otros rellenos sanitarios y/ o botaderos de la Región considerando las condiciones ambientales para el *Amaranthus spinosus*.

El éxito de la fitorremediación en estos ecosistemas (rellenos sanitarios y/o botaderos) repara el daño ecológico ocasionado por la presencia de toneladas de residuos sólidos de diferentes características las que con el tiempo han generado diferentes sustancias tóxicas caso los metales pesados entre ellos el plomo que daña los suelos, aire, flora y a la fauna y, al hombre a través de las cadenas tróficas.

### 2. 4. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar ensayos de fitorremediación, en los suelos contaminados con plomo del relleno sanitario de kehuar–Anta utilizando la especie *Amaranthus spinosus*

### 2.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a.- Caracterización físico química de los suelos que se encuentran en y los alrededores del relleno sanitario.
- b.- Determinar las concentraciones de plomo en suelos contaminados por el mal manejo del relleno sanitario
- c.- Evaluar la capacidad del *Amaranthus spinosus* en la fitoextracción del plomo en suelos fuertemente contaminados (campo abierto).

### 2.5. HIPÓTESIS

La presencia del relleno sanitario del distrito de Anta genera diferentes impactos ambientales tóxicos como la presencia del plomo en el suelo, el cual será reducido totalmente a través de la fitorremediación con *Amaranthus spinosus*.

### 2.6. MARCO TEÓRICO

#### 2.6.1. ESQUEMA DE CONCEPTOS BÁSICOS.

##### 2.6.1.1. RESIDUOS SÓLIDOS.

Los residuos sólidos es toda materia generada en las actividades de producción y consumo, que no han alcanzado un valor económico en el contexto en el que han sido producidos. La generación de residuos sólidos es el resultado del aprovechamiento ineficiente que el hombre hace de los recursos naturales. Toda producción se basa en la extracción de materias primas extraídas del medio natural en productos útiles para el consumo humano, dando lugar a unos sub productos o residuos no utilizables y que nuevamente entran en el medio ambiente cuando el hombre los desecha. (REZZA .E.1993).

Los residuos sólidos son todas las sustancias productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente para ser manejados a través de un sistema que incluya, según las siguientes operaciones: Segregación en la fuente, minimización de residuos, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección comercialización, transporte, transferencia y, disposición final.

#### **2.6.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.**

Los residuos urbanos se diferencian unos de otros, no existen dos residuos iguales, los residuos domésticos son los que varían de semana en semana y de estación en estación y, algunos varían entre los grupos socioeconómicos, dentro de una y otra ciudad. Las basuras domésticas recogidas conjuntamente con residuos industriales pueden ser muy diferentes de los residuos urbanos convencionales así como también del urbano rural (Kiely, G.1999).

La composición de los residuos sólidos urbanos de Anta presenta la siguiente clasificación:



**Cuadro 01 Clasificación de Residuos Sólidos Urbanos**

Composición de Residuos Solidos	Porcentaje %
<b>FERMENTABLES</b>	<b>38.83</b>
Materia orgánica	30.95
Huesos	0.28
Guano	7.58
<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>23.15</b>
Madera y follaje	8.42
Papeles	3.73
Plásticos: Alta densidad, baja densid.	9.06
Telas	1.43
Tetrapack	0.51
<b>NO COMBUSTIBLE</b>	<b>5.34</b>
Metales, vidrios y pilas	5.34
<b>OTROS</b>	<b>32.68</b>
Caucho, jebe, cuero	0.96
Tierra, cenizas , cerámica	27.76
Pañales, tecnopor	3.96
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Municipalidad Provincial de Anta 2007.

## 2.6.2. RELLENO SANITARIO

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de residuos sólidos en el suelo, utilizando los principios de ingeniería para confinar la basura en un área previamente implementada con los diferentes dispositivos para el control y manejo de las emisiones (líquidos y gases) producto de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos, con la finalidad de prevenir los riesgos a la salud pública y deterioro de la calidad ambiental.

### 2.6.2.1. Clasificación de los rellenos sanitarios.

Los rellenos sanitarios se clasifican de acuerdo a la operación en:

#### a. Relleno sanitario Semi Mecanizado.

La capacidad máxima de operación diaria no excede las 50 toneladas de residuos y los trabajos de esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realizan con el apoyo de equipos mecánico siendo posible el empleo de herramientas manuales para completar los trabajos del confinamiento de residuos.

#### b. Relleno sanitario Manual

El esparcido, compactación y cobertura se realiza mediante el uso de herramientas simples como rastrillos pisonos manuales, y entre otros la capacidad de operación diaria no excede las 20 toneladas de residuos, se restringe su operación en horario nocturno.

#### c. Relleno sanitario Mecanizado

La operación se realiza íntegramente con equipos mecanizados como el tractor de oruga, cargador frontal y su capacidad de operación es mayor a las 50 toneladas.

### 2.6.2.2. RESIDUOS SÓLIDOS EN ANTA

Una buena planificación permite a los gobiernos anticipar las necesidades de formación de capacidades, potenciar sus recursos productivos, invertir en infraestructura de manera económicamente eficiente y financieramente viable y, conservar su medio ambiente.

Por otro lado es crucial señalar que hay problemas estructurales en cuanto al acceso y la calidad de la educación y la salud , el debilitamiento de las comunidades campesinas y de las organizaciones sociales , la alteración del ciclo hidrológico y de la flora y fauna de la pampa de Anta , como consecuencia del drenaje realizado en la laguna.

Uno de los riesgos ambientales que amenaza la salud del hombre es constituido sin lugar a duda por la acumulación de los residuos sólidos, sobre todo como consecuencia del manejo así como de una inadecuada disposición final. (Municipalidad de Anta 2007)

### 2.6.3. CONTAMINACIÓN DE SUELOS

La presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos, es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. El contaminante esta siempre en concentraciones mayores a los habituales (anomalías) y en general tiene un efecto adverso sobre algunos organismos. Por su origen puede ser geogénico o antropogénico. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos se producen por los residuos



peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. Y de los residuos sólidos urbanos. Desde un punto de vista legal, los contaminantes antropogénicos son los verdaderos contaminantes. (Galán et al, 2008)

A pesar que la generación de residuos inherentes a la presencia humana ha sido tan antigua como nuestra historia, la disposición y tratamientos de los mismos, solo han sido documentados con diferentes grados de precisión desde el año 1940. Para ese entonces no se diferenciaban claramente las diversas fuentes de basura y fue hasta el año 1970 que el término “residuo sólido” empezó a utilizarse en todo el planeta (Sánchez M, 2010)

Los botaderos y rellenos sanitarios se caracterizan por su composición heterogénea, como consecuencia de la disposición y descomposición de basuras de diferente origen y la presencia de un amplio rango de moléculas naturales y Xenobióticas (Nagendran, R. et al, 2006). Estos lugares presentan un alto nivel de contaminación, reduciendo la calidad de vida de los habitantes a su alrededor y presentando diversos impactos negativos entre los que se citan la generación y escape incontrolado de lixiviados, la reproducción de vectores sanitarios, la falta de estabilidad geotécnica y cambios en la composición de la flora y la fauna. Dichas condiciones hacen necesario el monitoreo constante de parámetros tales como: pH, conductividad eléctrica, contenido de metales pesados y materia orgánica, entre otros.

La toxicidad de un elemento o compuesto químico es la capacidad que tiene ese material de afectar adversamente alguna función biológica. Los materiales o compuestos tóxicos no tienen origen biológico, excepto el caso particular de las toxinas que son compuestos tóxicos biogénicos. (Galán et al, 2008)

El suelo actúa en general como una barrera protectora de otros medios más sensibles (hidrológicos y biológicos), filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes y evitando en gran parte su biodisponibilidad. Esta capacidad depuradora de un suelo depende de los contenidos en materia orgánica, carbonatos y oxihidróxidos de hierro y manganeso, de la proporción y tipo de minerales de la arcilla, de la capacidad de cambio catiónico del suelo, del pH, textura, permeabilidad y actividad microbiana. Por tanto, para cada situación, el poder depurador de un suelo tiene un límite. Cuando se superan esos límites para una o varias sustancias, el suelo funciona como contaminado y es fuente de contaminación. (Galán et al, 2008)

La causa principal de la contaminación por metales pesados es intervención antropogénica (Banat, K. et al, 2005) siendo los botaderos y rellenos sanitarios uno de los sitios de mayor acumulación de estos contaminantes.

#### **2.6.4. PLOMO.**

El plomo (número atómico 82) presenta una densidad de 11.4 g/cm<sup>3</sup> y es considerado uno de los metales pesados de mayor toxicidad. Las emisiones naturales de plomo se ocasionan por las sales del mar, volcanes e incendios forestales, entre otros. El consumo de combustibles fósiles, incineración de basura, la producción de hierro, acero y cemento se consideran las principales causas antropogénicas de emisión de Pb. Otras fuentes importantes en el ambiente son las baterías, las pinturas, tuberías e insecticidas. Una vez que el Pb se deposita en el suelo, es inmovilizado por el componente orgánico de tal forma que la cantidad disponible para las plantas es baja y se encuentra en los primeros 5 cm superficiales. La adición de ácidos orgánicos puede incrementar su solubilidad y aumentar el transporte de Pb desde la raíz hacia órganos aéreos (Sharma P & Dubey R, 2005).

Dado que el Pb no es un elemento esencial, las plantas no presentan mecanismos de absorción para este metal y dicha absorción puede ocurrir por transporte pasivo. Algunos complejos entre Pb y grupos carboxílicos presentes en la superficie radicular, pueden entrar a las raíces, a pesar que dicho mecanismo no está completamente definido. Una vez dentro de las raíces, este metal se une a los sitios de intercambio iónico en las paredes celulares, o se precipita como fosfatos o carbonatos. El Pb no ligado, viaja a través de los canales de Ca, y puede acumularse en el floema y en el xilema. La toxicidad de Pb en las plantas está asociada a la reducción de la tasa de germinación y crecimiento radicular, reducción de la tasa fotosintética y bajo rendimiento en la producción de biomasa. (Sharma P & Dubey R, 2005).

#### **2.6.5. ESPECIE BOTÁNICA COMO FITORREMIADORA.**

Anexo 7. Marco teórico del proyecto de tesis (pág. 36.)

#### **2.7. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.**

Anexo 7. A nivel Internacional, Nacional. Proyecto de tesis,

#### **2.8. AREA DE ESTUDIO.**

El distrito de Anta se encuentra enmarcado entre las cuencas del Vilcanota y Apurímac, pertenece a la Provincia del mismo nombre en la Región del Cusco se halla ubicado al oeste de la ciudad del Cusco a 25 minutos por carretera asfaltada

La zona urbana de Anta está conformada por dos zonas altitudinales, la zona alta comprendida por la población de Anta y en la parte baja se encuentra otra zona que es la población de Izcuchaca la cual se encuentra asentada a lo largo del río Hatunmayu.



Políticamente el distrito de Anta se encuentra en la provincia de Anta Departamento del Cusco, conformado por 41 centros poblados y 17 comunidades.

**Región** : Cusco

**Provincia** : Anta

**Distrito** : Anta

**Comunidad Campesina** : Kehuar

### **2.8.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.**

La extensión del distrito de Anta es de 1,800.42 Km<sup>2</sup>, con una población de 17,262 habitantes y una densidad poblacional de 9,2 hab/km<sup>2</sup>. El relleno sanitario de la comunidad campesina de Kehuar se encuentra ubicado geográficamente. Bajo las coordenadas UTM 0808909 E y, 8512389 S. a una altitud de 3511 m.

La accesibilidad hacia el relleno es una carretera afirmada Izcuchaca- Chacan Chico - Kehuar a una distancia de 15 km., a su vez el relleno sanitario cuenta con una serie de caminos desde la misma comunidad de Kehuar para el acceso de los trabajadores.

### **2.8.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA PROPUESTA**

El clima de la provincia de Anta es bastante variada, al igual que su topografía con cumbres elevadas, quebradas y planicies como la pampa de Anta, estos ecosistemas albergan un potencial de recursos naturales muy diversos como el maíz, trigo, cebada, papa, habas, se podría decir que es la despensa de la ciudad del Cusco, en materia de granos y tubérculos, a lo que se suma la ganadería de vacunos, porcinos y, es considerada como la cuenca ganadera del Departamento del Cusco.

El distrito de Anta presenta dos tipos de clima:

Lluvioso Frio con Invierno Seco.

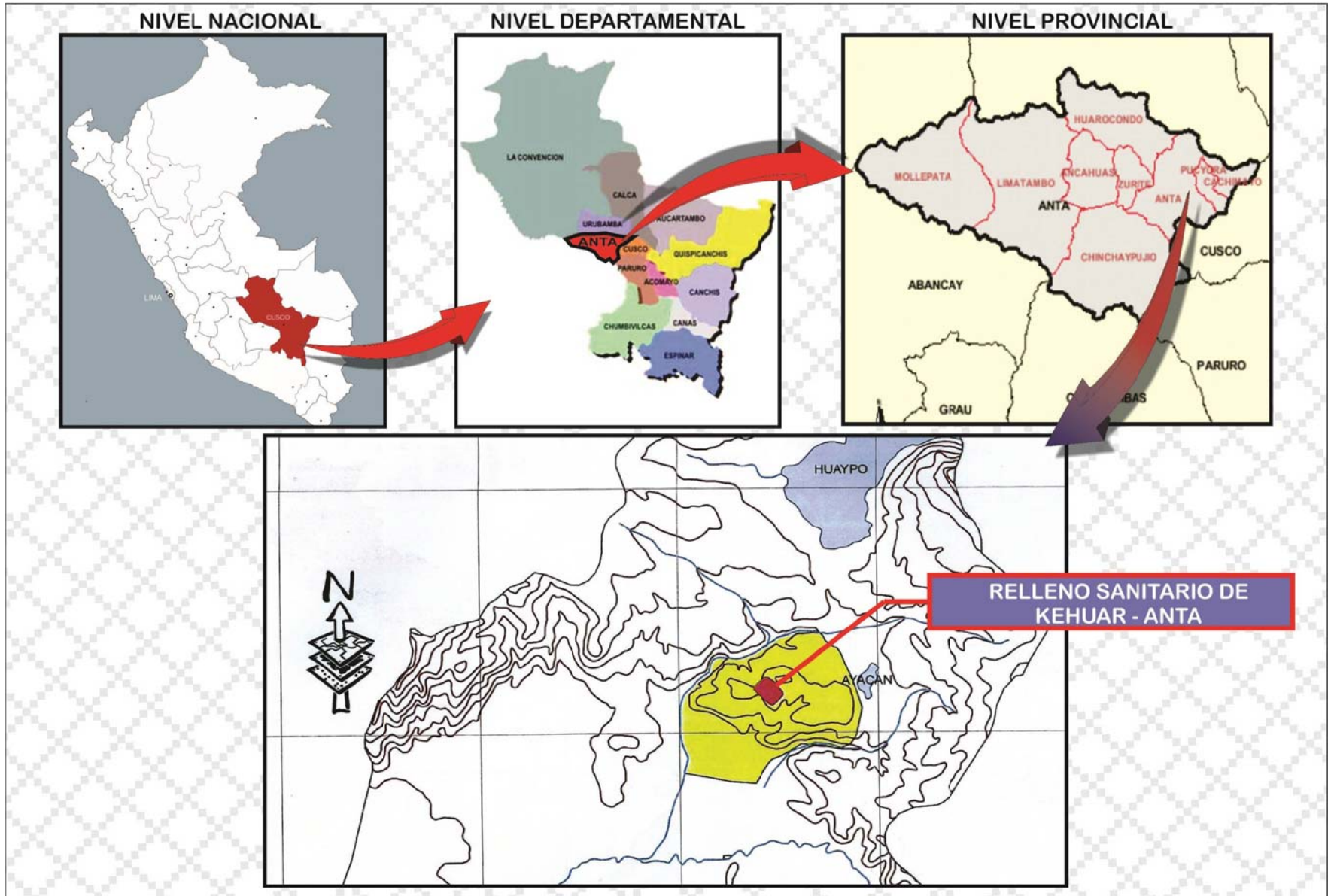
Las precipitaciones se distribuyen en un rango de 980 a 1600 mm/año y una temperatura media anual de 6.5 a 12°C, los valores más altos en precipitación se encuentran entre los meses de diciembre a marzo, siendo el resto del año relativamente seco estos parámetros climáticos se ubican desde los 3600 hasta los 4000 m. de altitud prácticamente la puna de Anta en la que se sitúan las comunidades de Mantoclla y Ccasaccunca.

Semi seco con Invierno Seco.

Este tipo de clima se distribuye por todo el distrito de Anta y presenta precipitaciones entre 500 a 1000 mm/año, una temperatura media anual de 12 a 14°C, los meses de mayor precipitación son diciembre, enero y, febrero con período de estío entre mayo a julio, este clima se encuentra entre los 3000 y 3500 m.



# MAPA DE UBICACION





## 2.9. METODOLOGÍA: TÉCNICA, INSTRUMENTOS

Observación experimental. Se realizara bajo condiciones naturales in situ en

Campo abierto - Relleno sanitario – Localidad de Kehuar

### **Primera etapa:**

a.- Demarcación de las parcelas para la toma de muestras de suelo para los respectivos análisis físicos y químicos.

Instalación de 9 parcelas debidamente estacadas.

Dimensiones: 2 m. de ancho X 4 m de largo.

7 parcelas estarán ubicadas en el ámbito del relleno sanitario y 2 parcelas en suelos aledaños a la salida de los lixiviados.

b.- Preparación de las semillas de *Amaranthus spinosus*

- Implementación de dos almacigueras de 1 m. X 1.50 m.

### **Segunda etapa.**

#### **Muestreo para los Análisis de suelos:**

a.- Muestreo de detalle para suelos.

El objetivo es obtener muestras de suelo representativas ya que se debe

Observar los espacios contaminados (relleno sanitario), las que deben de ser determinadas a través de una fase de identificación especial del terreno.

b.- Muestreo de Identificación

Se realiza con el objetivo de investigar la presencia de contaminantes en los suelos a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los estándares de calidad ambiental dados por D.S. N° 002-2013-MINAM ECA para suelos.

La toma de muestras de suelo deberá realizarse considerando un número representativo de puntos de muestreo. Obtenido estos resultados y comparado con los ECA se procede a la prueba de fitorremediación (MINAM. 2013).

**Protocolo:**

- Se tomará un total de 9 puntos de muestreo (parcelas pre establecidas) en cada parcela se tomaran 5 sub muestras recorriendo el terreno en zigzag, tomando una sub muestra de cada punto a una profundidad de 60 cm. (ver imagen 1.), para luego mezclar y obtener una muestra patrón, un kilo de muestra el cual será colocado en bolsas de papel, luego ser colocadas en una bolsa negra de polietileno debidamente etiquetadas.
- Una vez lista la muestra será llevado al laboratorio.
- Obtenido los resultados físicos, químicos y de metales (materia orgánica, pH, Nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, capacidad de intercambio catiónico) y, de los metales pesados posteriormente comparados con los LMP, se procede a la plantación de la especie vegetal.
- Plantación de la especie fitorremediadora *Amaranthus spinosus* en las parcelas previamente demarcadas, se realizará por trasplante.

IMAGEN 01  
MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO  
PARA SUELOS

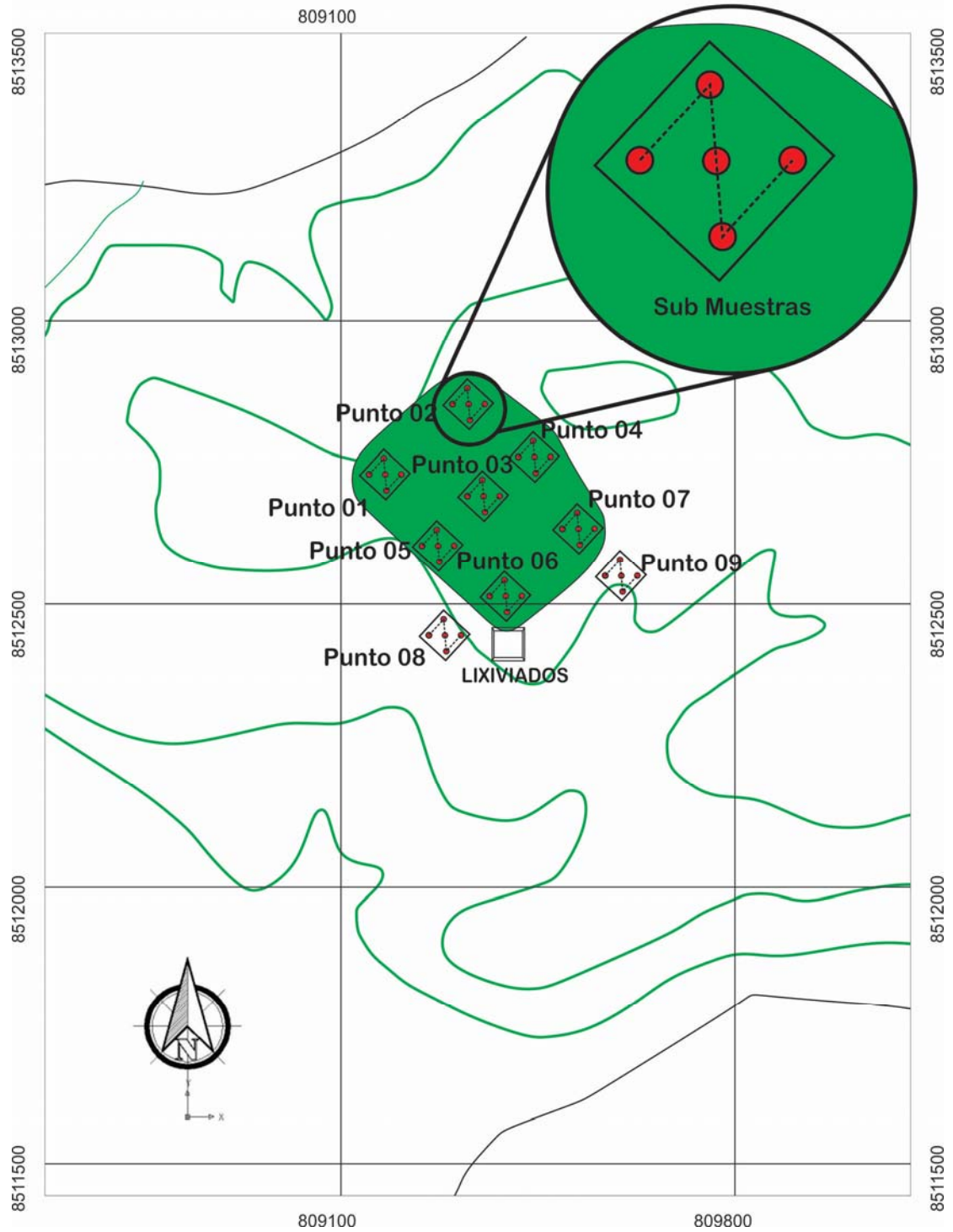
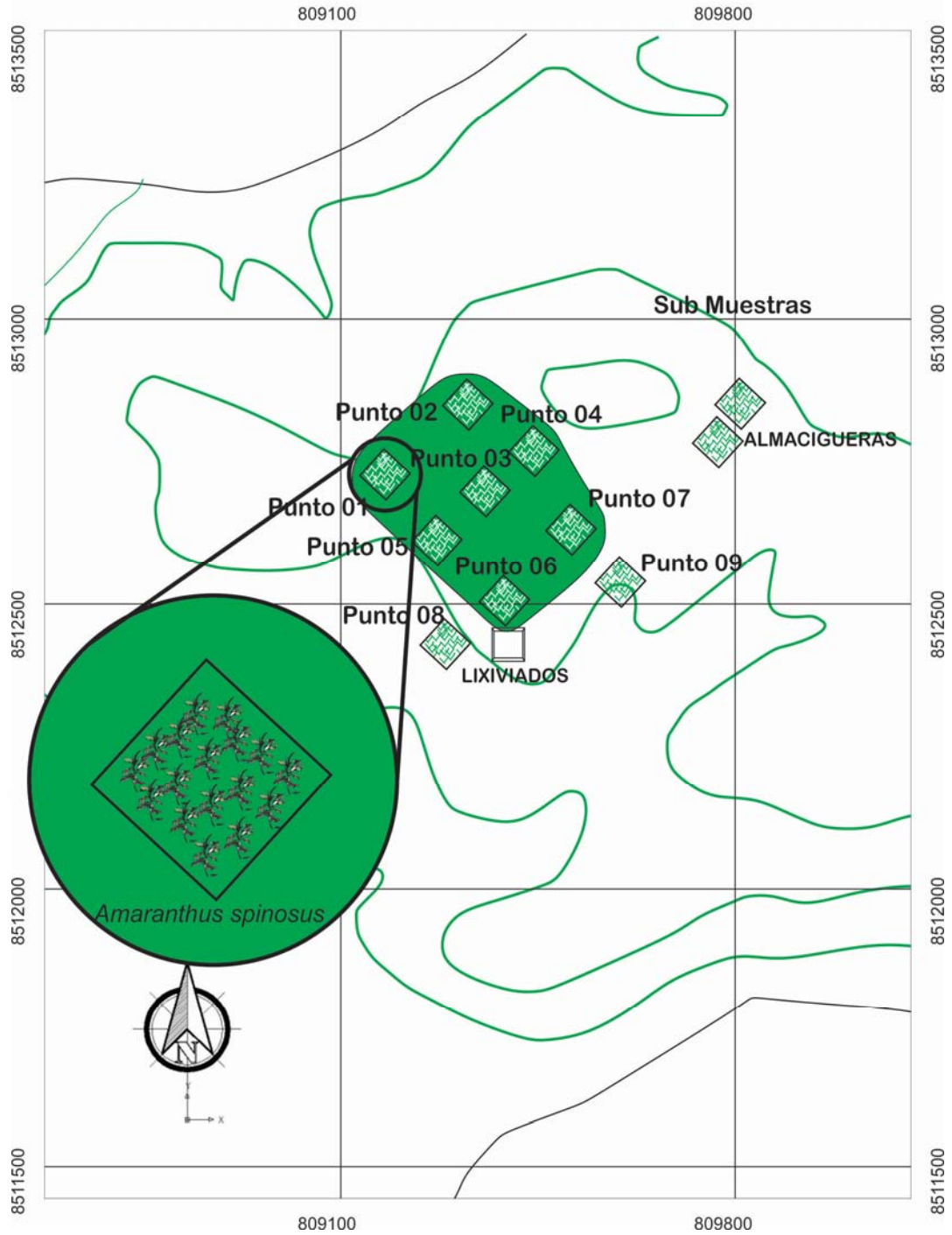




IMAGEN 02  
MAPA DE UBICACIÓN DE PARCELAS PARA LA  
FITORREMEDIACION



**Tercera etapa:**

a.- Una vez que el *Amaranthus spinosus* este en la etapa de floración se procederá con la extracción de toda la planta, previamente se realizará las medidas biométricas, largo y peso de la raíz, tallo e inflorescencia una vez obtenido estos datos, la muestra será colocada en bolsas de papel para ser transportadas al laboratorio para los análisis respectivos por Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS)

**Fundamento de la Espectroscopia de Absorción Atómica****Procesamiento de las muestras para determinar la capacidad de Absorción de plomo por *Amaranthus spinosus***

Ver Anexo 7 proyecto de tesis, (pág.53)

**Procesamiento de las muestras de suelo para los análisis de Metales pesados.**

- Extraídas las muestras de suelo se procede a obtener suelo seco al aire molido y homogenizado (debidamente cuarteada).
- Tomar 3 gr de esta muestra en crisoles, secar en la estufa determinar la humedad hasta obtener peso constante.
- Colocar las muestras al horno a 380°C hasta obtener cenizas blanco Grisáceo.
- Atacar con ácido nítrico  $H_2NO_3$  + agua en una relación de 1: 1, agregando un volumen de 10 ml de ácido nítrico.
- Proceder con la digestión húmeda en una estufa a 45°añadiendo agua por repetidas veces proceso que dura aproximadamente 4 horas terminada la digestión las muestras serán filtradas y aforadas a 50 ml.

Este extracto se llevara a la lectura en el espectrómetro de absorción Atómica.

## INSTRUMENTOS.

a.- Instrumento documental

b.- Instrumentos mecánicos

c.- Material de laboratorio

Ver Anexo 7. Proyecto de tesis (pag.54)

d.- Material de campo para toma de muestras de suelo

- pico

- pala

- wincha

- baldes

- bolsas de papel

- bolsas de polietileno

- guantes, mascarilla

## 2.10.- RECURSOS

Los recursos humanos y financieros estarán asumidos por una Institución, como la Municipalidad de Anta.

## 2.11. PRESUPUESTO

### Recursos Humanos

Responsable del proyecto : Municipalidad de Anta (un profesional)

Asistente de campo : 2 personas de apoyo (estudiantes, bachilleres)

### Costo de Recursos Humanos

Personal	Estipendio	9 meses	Total
Responsable	700.00	9 meses	6,300.00
Asistente	300.00	9 meses	2,700.00
<b>Total</b>			<b>9,000.00</b>



## Costo de materiales, reactivos y procesamiento de muestras

Descripción	Precio unitario s/.	Cantidad	Total
<b>Materiales de campo</b>			
Palas	35.00	04	140.00
picos	35.00	04	140.00
baldes	18.00	05	90.00
Guantes de jebe	8.00	08	64.00
Mascarillas	2.50	20	50.00
bolsas de polietileno	15.00	01 (ciento)	12.00
rafia	12.00	01 (rollo)	12.00
<b>Sub Total</b>			<b>508.00</b>
<b>Análisis de Laboratorio</b>			
Espectrometría de Absorción Atómica (análisis) para suelos y material vegetal	60.00	36	2160.00
<b>Sub total</b>			<b>2160.00</b>
<b>Instrumentos</b>			
Termómetro (0 -100°C)	140.00	02	280.00
pHmetro (tipo lapicero)	340.00	01	340.00
Balanza (de platillo 1 Kg.)	480.00	01	480.00
<b>Sub total</b>	-	-	<b>1100.00</b>
<b>Material de escritorio</b>			
Papel Boon	35.00	3 ml	105.00
Papel bulky	15.00	02	30.00
CD	1.00	10	10.00
Tinta de impresora	60.00	02	120.00
<b>Sub total</b>			<b>265.00</b>

## Presupuesto del Proyecto

RUBRO	APORTE SOLICITADO	TOTAL
Recursos humanos	Municipalidad	9,000.00
Materiales de campo	Municipalidad	508.00
Laboratorio (Análisis del Pb)	Municipalidad	2160.00
Instrumentos	Municipalidad	1100.00
Materiales de escritorio	Municipalidad	265.00
Imprevistos	Municipalidad	500.00
<b>TOTAL</b>	<b>Municipalidad</b>	<b>13, 533.00</b>

## BIBLIOGRAFÍA

- **Aitcheson, L.** - History Metals .London: Mac Donalds Daves, L.C y Erick. L.E. And Evans: EEUU.1960.
- **Alloway,B.J.** Heavy Metals in Soils Blakies And academic & Professional. Londres 332- 370 pp. 1995.
- **ATSDR.** Curso de Toxicología Para Comunidades “Manual de Capacitación para Comunidades Expuestas a Desechos Peligrosos”. Agency for toxic Substancias, Desease Registry, Atlanta 2005.
- **Aranguren. F.** El Plomo En el Medio Geográfico: Una amenaza Saliente. Pág. 121- 155- geo enseñanza, volumen 4, ISSN 1316-60777.1999
- **Baudran. Jann.,** Gestión y conservación del suelo: Contaminación del Suelo. Contaminantes específicos. Metales Pesados – Red de Seguridad y Salud en el trabajo RSST – Boletín de Información N° 04, España – 2002.
- **Banat. K, Howari F. y Al-Hamad A.** Heavy metals in urban soil of central Jordan should we worry about their environmental risks, Environmental Research 97: 258-273. 2005.
- **Berazaín, R.** Estudios de Plantas Acumuladoras e Hiperacumuladoras de níquel en las serpentinas del Caribe. Rev. Jardín Botánico Nacional. Vol. XX: pg.7-30. México 1999.

- **Bonilla,V.S.M.** Estudio y Tratamiento de Biorremediación de suelos Contaminados con plomo utilizando el método de fitorremediación – Quito- Ecuador 2013.
- **Brown S.L., Chaney R.L., Baker A.J.M.** Phytoremediation potential of *Thalspi caerulences* and Bladder Campion for zinc and cadmium contaminated soil J. Environ Qual. 23: 1151 1157. México 1994.
- **Brown, S.L.; Chaney,R.L. Hallfrish,J.G. y Qi Xue.** Effect of Biosolids Processing On Lead Bioavailability in an Urban Soil. Environ Qual 32,100-108. 2003.
- **Castillo,P.R. , Sanchez,S.E. y Ortiz,H.M.** Fitoextracción de Pb,Cr,Zn, en suelos mediante el uso de geranios ( Pelargonios)- Centro de Investigaciones de biotecnología . Universidad Autónoma del Estado de Morelos-México 1999.
- **Cornelis,R., M.Nordberg.** General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation. Handbook on the thoxicology of metals, pp. 29- 35. 2007
- **Cusato, M.,Tortosa R.D.** Fitorremediación – Empleo de Discaria Americana. CEQUIPE- INTI –Argentina 2002.
- **Chaney, R L., Y M Li, S L Bronw.,F A Homer., M Malik.,J S Angle.,A J M Baker. RD Reeves., M Chin,** Improving metal hyperaccumulator wild plants to developed commercial phytoextracción systems: apporoaches and progress. In: Phytoremediati6n of Contaminated Soil and Water. Florida – 2000.
- **Chaney,R.L., Malik,M., Brown,S.L., Brewer,E.P., Angle,J.S; Baker,A.L.M.** Phytoremediation of soil metals. Current Opinion en Biotechnology 8: 279-284.1997.



- **Crowley.E. Alvey.S., Gilbert. E.** Rizosphere Ecology of xenobiotic-degrading microorganismis en fitorremediation of soil and water contamination. Cap. 2. 306 p. 1997.
- **De Andra, Beck.** Una Nueva Cosecha: Plantando Semillas Para la Enmienda de los Suelos la obtención de energía renovable y la recuperación de recursos USDA. EEUU. 2002.
- **De la Cruz,L.N.** Especies de Leguminosas Como Fitorremediadoras en suelos Contaminados. Tesis doctoral. Texoco México 2010.
- **Erickson, L.E. C.** An experimental study of phytoremediation of methyl –tert –butyl-ether (MTBE) in groundwater. Jornal of Hazardous Substancie Research 2(4): 1-19. 2000.
- **Emsley, J.** Ancient World Was Poisonet by Lead En: New Scientist. 143:14.1994. Erickson, L.E. C. An experimental study of phytoremediation of methyl – tert -butyl-ether (MTBE) in groundwater. Jornal of Hazardous Substancie Research 2(4): 1-19. 2000.
- **Garbisu C.** Fitorremediación y Biorremediación: Nuevas Tecnologías Biológicas para la eliminación de los Contaminantes del Suelo. Ciencia y Medio Ambiente. II Jornadas Científicas. CCMA-CSIC, pg. 145-152. 2002
- **Granadillo V.** Concentraciones de plomo en Sangre de la Población de la ciudad de Maracaibo- Universidad de Zulia –Maracaibo- p.1- 110 Venezuela 1993.
- **Greguer,A.** Metal Availability ,uptake,transport and accumulation in plants.En: Prasad, M.N.V (Ed). Heavy metal stress in plants. 2nd Edition. Springer-Velarg,Berlin 1-27 pp. 2004

- **Hernández V.I. Mager D.** Uso de *Panicum maximun* y *Brachiaria brizantha* , para Fitorremediar Suelos Contaminados con un Crudo de Petróleo Liviano , Boletín Bioagro N° 15- Venezuela 2003.
- **Infante C.,** Biorremediación de derrames de Hidrocarburos en Ambientes Naturales. Memorias del IV Congreso Interamericano Sobre Medio Ambiente Caracas Venezuela 1997.
- **Iannacone,O.J. y Alvariño,F,L.** Efecto Ecotoxicológico de tres metales Pesados Sobre el Crecimiento Radicular de Cuatro Plantas Vasculares . Agricultura Técnica v.65 n.2: pg.198-203. 2005.
- **IGME.** Determinación, Niveles de fondo y Niveles de Referencia de Metales Pesados y otros Elementos Traza en suelos de la Comunidad de Madrid. Publicación del Instituto Geológico Minero de España (IGME) Serie Medio ambiente Terrenos Contaminados. N° 2, 167p. España 2002.
- **.Kabata-Pendias ,A.S.yPendias,H.** Trace elements in soil and plants. CRC press. 432 pp. 2000. Kabata - Pendias , A. Soil plants transfer of trace elements – and environmental issue. Geoderma, 122: 143-149. 2004.
- **Kramer,U.** Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. Current Opinion in Biotechnology, 16: 133-141. 2005
- **Lesmana, S.O., Febriana, N., Soetaredjo, F.E. Sunarso,J., y Ismadji.** Studies on potential Application of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater .Biochemycal Engineering. Jornal, 44: 19-41 .2009

- **Llovet M.J., Falco G., Martín N., Domingo J.L.**, Riesgos Tóxicos por Metales Presentes en Alimentos : Plomo, Arsénico, Cadmio y Mercurio. Universidad de Barcelona – España - 2000.
- **Looyd J R. y Lovley D. R.**... Microbial detoxification of metals and radionuclides. *Current Opinion in Biotechnology*, 12:248-253. 2000
- **McBride M., Sauve S. y Hendershot W.** Solubility control of Cu, Zn, Cd. And Pb. In contaminated soil, *European Journal of Soil Science* 48: 337- 346. 1997.
- **Ministerio de Agricultura.** Manejo y Fertilidad de suelos del Perú, pg.39, 2011.
- **MINAM.** Ministerio del Ambiente. Política Nacional del Ambiente. Decreto Supremo N°- 02- 2009 – MINAM. Lima Mayo Perú 2009.
- **Mosyakin S.L. & K.R. Robertson.** New infragenetic taxa and combinations in *Amaranthus* (Amaranthaceae). *Ann. Bot. Fenn.* 33: 275-281.-1996.
- **Municipalidad Provincial de Anta. Dirección de Desarrollo (Rural y Urbano)** Proyecto de Construcción Relleno sanitario de Kehuar Anta. Cusco- Perú 2007.
- **Municipalidad Provincial de Anta.** Desarrollo Concertado de la Provincia de Anta. Al 2015. Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas. Cusco- Perú 2015.
- **Nuñez F., Mallia A.** Evaluación a Escala Piloto de la Fitorremediación de Cuerpos de Agua empleando *Canna glauca*. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún – México 2002.



- **Neis D.H.** Macrobial Heavy Metal Resistance Applied Microbiology and Biotecnology.51: 73 0-750 – México 1999.
- **Sharma P. &Dubey,RS.** Toxicidad de plomo en las plantas .Brazil 2005.
- **Saval, B.S.** Curso Sobre Remediación de sitios Contaminados “Encuentro Latinoamericano Sobre Biorremediación de Sitios Contaminados”. México , 2011
- **Orroño, I.D.** Acumulación de Metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en Especies del Genero Pelargonium, Suministro desde el suelo, Ubicación en la Planta y Toxicidad - Universidad de Buenos Aires 2002. Argentina.
- **Ortiz,C. H. G., R.Trejo, C., Valdez,C.R.D., Arreola,A.J.G., Flores,H.A., Lopez,A.R.** Fitoextracción de Plomo y Cadmio en Suelos Contaminados Usando Quelite (*Amaranthus hybridus L.*) y Micorrizas. Universidad Autónoma de México –Revista Chapingo Serie horticultura 15(2) 161-168 México 2009.
- **Pawlowska,T.E;Chaney,R.L. y Charvat, I.** Effects of metals phytoextraction practices on the indigenous community of arbuscular mycorrhizal fungi at a metal contaminated landfill Applied and Environmental Microbiology , 6: 2526-2530. 2000.
- **Pérez J.M., Castillo M.I., Paz F.** Asimilación de Cadmio y Plomo por la *Nicotiana tabacum*, Universidad del Pinar del rio CP: 20100, MÉXICO 2010.
- **Pérez,J.M.** El Potencial Acumulador de Cadmio y Plomo en *Nicotiana tabacum* L. variedad “criollo “, cultivado en suelos y sustrato artificial en San Juan y Martínez, Pinar del Rio Cuba. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante Cuba 2006.

- **Pineda, R, H.** Presencia de Hongos Micorríticos arbusculares y contribución de *Glomus intraradices* en la absorción y translocación de zinc y cobre en girasol (*Helianthus annuus L.*) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina Tesis doctoral. Universidad de Colima – México- 2004.
- **Reyes,N.M.,Alvarado, De P.A.; Antuna, D.M., Garcia V. A.; Gonzales,V.S.,Vásquez,A.E.** Metales Pesados : Importancia y Análisis. Centro Interdisciplinario de Investigación Para el Desarrollo Integral Regional – Rev. N° 16, pg. 21-24. Durango México 2005.
- **Rezza,E.S.A. de C.V-** **Héroes de la Independencia, 350 Coecillo – León , Guanajuato, México** . Tratado del Medio Ambiente. 1993.
- **Robinson, B. H., Lombi, E.,Zhao,F.J.** Uptake and distribution of nickel and other Metals en the Hyper accumulator *Berkheya coddii*. New Phytologist 158,279-285. 2003.
- **Rocha C. E.** Principios Básicos de Espectroscopia; Editorial UACH, México, pág. 123-203 2000.
- **Rodríguez O. J; Rodríguez H.P., De Lira Reyes G. Martínez De la Cerda., Lara M.** Capacidad de 6 especies Vegetales Para Acumular Plomo en suelos Contaminados –Revista. Fitotecnia México. Vol.29 (3): 239-245 - .2006.
- **Rojas,L.C.** Efecto de la Interacción hongo- *Dodonaea viscosa L.* Jacq. En la fitorremediación de plomo en un sistema in vitro. Tesis de Maestro en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F. 2010.

- **San Gabriel, W., Ferrera,R.M, Trejo,M-R.** Fitorremediación de un suelo Contaminado con Combustóleo utilizando *Phaseolus coccineus* y fertilización Orgánica e Inorgánica, Rev. Agronómica N° 41 pg. 817-826. Veracruz-México 2006.
- **San Gabriel, W.,R.FerreraCerrato, D.A.,Trejo,M.R.,López,J.S.C.; Sánchez,C.L., Ortiz,J.D.,Martinez y A. Alarcón.** Tolerancia y Capacidad de Fitorremediación de Combusteolo en el Suelo por seis especies vegetales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 22(2): pg.63-73. México 2006.
- **Sanchez .Pinzón,M.** Contaminación por Metales Pesados en el Botadero de Moravia en Medellín : Transferencia a Flora y Fauna del Potencial Fitorremediador de especies nativas e introducidas . Bogotá D.C. 2010.
- **Sauvé, S.,Henderson W.** Solid Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, total Metal Burden, and Organic Matter. Tesis para obtener el grado de doctor en Ciencias Universidad de Colima Tecoma México 2000.
- **Seoáñez, C. M.** Ingeniería del Medio Ambiente Aplicada al Medio Natural Continental Mundi –Prensa, pg. 60,181y 290. México 1999.
- **Sierra V.R.** Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis Maestría México 2006.
- **Walton H.F., Reyes J.** Análisis Químico e Instrumental Moderno. Departamento de Química, Universidad Nacional de Trujillo – Perú, Edit. Reverté S.A. 1978.
- **Wang, Y.P.,Chao,C.C.** Effects of Vesicular –Arbuscular Mycorrhizae and heavy Metals on the growth of Soybean and Phosphate and Heavy Metal



Uptake by in Major soil Group of Taiwan. J.Agric. Assoc. China New. Ser. 157, 6-20. 1992.

- **USEPA – ORD.** Manual – Ground-water and leachate treatment systems. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/625/R-94/005 –1995.
- **USEPA – ORD.** In Situ treatment of soil and groundwater contaminated with Chromium. Technical resource guide. EPA/625/R-00/005, Octubre 2000.
- **Valdés, P.F. y Cabrera, M.V.** La Contaminación por metales pesados en Torreón Coahuila, México .Texas *Center for Policy Studies*. 46pp. B 1999.
- **Valdés C. y Balbín, A.** Fito remediación Para Metales Pesados. Principios de una Tecnología en Desarrollo., Universidad Agraria la Abana Fructuoso Rodríguez Pérez. Red Temática FITOREM. Cuba 2008.
- **Volqué, Sepúlveda J.A; Velasco Trejo y, De la Rosa Pérez, D.A.** Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de Ecología – Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT). 141pp. México 2005.

## PAGINAS WEB

- **Amezaga I., Alkorta.** Biorremediación y Ecología. Ecosistemas. 2002/3  
URL. disponible en Web: <http://www.aeet.org/ecosistemas/023/opinion1.htm>.
- **Becerril. J M., Barrutia O., García H., Hernández A., Garbisu C.** Especies Nativas de Suelos Contaminados por Metales: Aspectos Eco fisiológicos y su uso en Fitorremediación. Revista Científica y Técnica – Ecosistemas N° 16(2)-. Disponible en Web: [http://www.revistaecosistema.net/articulo.sp?id=481\\_](http://www.revistaecosistema.net/articulo.sp?id=481_) (Consulta: 10-03-2010).
- **Bernal.M; Clemente.R., Vasquez.S. y Walker.D.** Aplicación de la fitorremediación a los suelos Contaminados por Metales Pesados en Aznacollar. Rev.Científica Técnica de Ecología y Medio Ambiente N° 16 (2) 67-76. 2007. España. Disponible Web: [http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=483\\_](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=483_)(consultado 7-07- 2011)
- **Chicón, L.** Especiación de Metales Pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Trabajo de investigación del Programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Málaga. Disponible en Web: <http://usuarios.lycos.es/ambiental/portada.html>. junio 2003.(Consulta : 02-08-2011)
- **EPA** United States Enviroment Protection Agency. Introducción to phytorremdition Washington,DC. 72p .2000. Disponible en Web: <http://www.Clui-in.org/download/remed/introphyto.pdf>. (Consultado. C-21 -08-2011).
- **Galán, E. y Romero, A.** Suelos Contaminados por Metales Pesados. Artículo publicado en la Revista de la Sociedad Española de Mineralogía N° 10. Pg. 48- 60- 2008. Disponible en Web:

[http://www.ehu.es/sem/macl\\_pdf/macla10/Macla10\\_48pdf](http://www.ehu.es/sem/macl_pdf/macla10/Macla10_48pdf). (Consultado el 22-11-2013).

- **Garbisu C., Becerril J.M; Epelde L Alkorta I.** Phytoextraction a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bio. Tech. 77: 229-236. España 2001. Disponible en Web: <http://www.revistaecosistema.net/articulo.as=?Id=485&tipo=portada> (Consulta: 18-03-2010)
- **Garbisu C., Alkorta I.** Basic Concept on heavy metal soil Biorremediation, R. J. Of Min. Proc. and Env. Prot. 3(1): 58-66. España 1997. Disponible en Web: <http://www.revistaecosistema.net/articulo.as=?Id=485&tipo=portada>. (Consulta: 15-02-2011)
- **García, I., Dorronsoro, C.** Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola Disponible en Web: <http://edafología.ugr.es/conta/tema15/introd.htm> (Consulta: 15-02-2011)
- **INEGI.** Minería en México 2005. Disponible en Web: <http://cuentame.inegi.gob.mx/impresion/economia/mineria.asp> ( consulta C-23- 02- 2012)
- **Jara, E.P., Gómez, J. M., Chanco, G. M., Montoya, H. Chanco, M.; Cano N y, Mariano, M.** Capacidad Fitorremediadora de Cinco Especies Altoandinas de suelos Contaminados con metales pesados .Revista Peruana de Biología. vol.21, N°2-(2014) Lima-Perú. 2011. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/9817>
- **Maqueda G.A.P.** Fitorremediación de Suelos Contaminados con Metales pesados Universidad de las Américas Tesis doctoral, Puebla - México, Disponible en Web:



<http://www.net/htmlbura/ficha/paramos/id.50861155.html.eo>.

(Consulta 10 -11-2010).

- **Rodríguez H.P.** Descontaminación del Suelo de Concepción con altos Contenidos de Plomo y Arsénico Usando Plantas Nativas de la Región. Huancayo - Perú 2010. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S036280720050002000009](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036280720050002000009). Consulta, (6-8-2011).





ANEXO N° 01:

Análisis por Espectroscopia de Absorción Atómica de plomo en  
*Amaranthus spinosus*

**QUIMICA LAB - CUSCO**

DE: ING. MARIO CUMPA CAYURI  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES: AGUAS, SUELOS, MEDIO  
AMBIENTE Y SERVICIOS A FINES  
RUC N° 10238409077 – TELF 271966 COVIDUC A4 – CEL: 984687752

CALCULOS DE CAPACIDAD DE ABSORCION DE Pb (plomo)

MUESTRA	CODIGO	PESO MUESTRA SECA *G	Vol aforo (ml)	mg/l de Pb absorbido
1	IC1R	5	50	1.3
2	IC2R	5	50	3.3
3	IC3R	5	50	4.8
4	ITP	5	50	0
5	IC1TH	5	50	1.0
6	IC2TH	5	50	1.3
7	IC3TH	5	50	1.3
8	ITP	5	50	0
9	IC1Y	5	50	0.5
10	IC2Y	5	50	1.3
11	IC3Y	5	50	1.3
12	ITP	5	50	0
13	IIC1R	5	50	1.3
14	IC2R	5	50	2.2
15	IIC3R	5	50	3.1
16	IITP	5	50	0
17	IIC1TH	5	50	1.3
18	IIC2TH	5	50	2.2
19	IIC3TH	5	50	1.3
20	IITP	5	50	0
21	IIC1Y	5	50	0.5
22	IIC2Y	5	50	0.5
23	IIC3Y	5	50	1.2
24	IITP	5	50	0
25	IIIC1R	5	50	1
26	IIIC2R	5	50	2.2
27	IIIC3R	5	50	4.8
28	IIITP	5	50	0
29	IIIC1TH	5	50	1.1
30	IIIC2TH	5	50	1.2
31	IIIC3TH	5	50	2.2
32	IIITP	5	50	0
33	IIIC1Y	5	50	1.1
34	IIIC2Y	5	50	0.7
35	IIIC3Y	5	50	1.2
36	IIITP	5	50	0
37	IVC1R	5	50	3
38	IVC2R	5	50	2.2
39	IVC3R	5	50	3.3
40	IVTP	5	50	0
41	IVC1TH	5	50	1
42	IVC2TH	5	50	1.1
43	IVC3TH	5	50	1.8
44	IVTP	5	50	0
45	IVC1Y	5	50	0.5
46	IVC2Y	5	50	0.5
47	IVC3Y	5	50	0.7
48	IVTP	5	50	0

Ing. Mario Cumpa Cayuri  
Reg. CIP. 16188  
CONSULTOR AMBIENTAL DREM-GR-CUSCO  
CATEGORIA I Y II





ANEXO N° 02

# QUIMICA LAB - CUSCO

DE: ING. MARIO CUMPA CAYURI  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES: AGUAS, SUELOS, MEDIO  
AMBIENTE Y SERVICIOS A FINES  
RUC N° 10238409077 – TELF 271966 COVIDUC A4 – CEL: 984687752

INFORME DE ANALISIS DE PLOMO EN PLANTA- *Amaranthus spinosus*  
MUESTRA: RAIZ, TALLO HOJAS E INFLORESCENCIA (*Amaranthus spinosus*)  
TEMA: TESIS DOCTORADO  
SOLICITANTES: MARGOT PAIVA PRADO  
FECHA: FEBRERO DEL 2012

LECTURA DE LA CONCENTRACION DE PLOMO POR A.A

MUESTRA	CODIGO	TRANSMITANCIA	mg Pb/kg. Planta
1	IC1R	98	13
2	IC2R	92	33
3	IC3R	90	48
4	ITP	100	0
5	IC1TH	99	10
6	IC2TH	98	13
7	IC3TH	98	13
8	ITP	100	0
9	IC1Y	99	0.5
10	IC2Y	98	13
11	IC3Y	98	13
12	ITP	100	0
13	IIC1R	98	13
14	IIC2R	95	22
15	IIC3R	93	31
16	IITP	100	0
17	IIC1TH	98	13
18	IIC2TH	95	22
19	IIC3TH	98	13
20	IITP	100	0
21	IIC1Y	99	5
22	IIC2Y	99	5
23	IIC3Y	98	12
24	IITP	100	0
25	IIIC1R	99	10
26	IIIC2R	95	22
27	IIIC3R	90	48
28	IIITP	100	0
29	IIIC1TH	99	11
30	IIIC2TH	98	12
31	IIIC3TH	95	22
32	IIITP	100	0
33	IIIC1Y	99	11
34	IIIC2Y	99	7
35	IIIC3Y	98	12
36	IIITP	100	0
37	IVC1R	94	30
38	IVC2R	95	22
39	IVC3R	92	33
40	IVTP	100	0
41	IVC1TH	99	10
42	IVC2TH	99	11
43	IVC3TH	97	18
44	IVTP	100	0
45	IVC1Y	99	5
46	IVC2Y	99	5
47	IVC3Y	99	7
48	IVTP	100	0

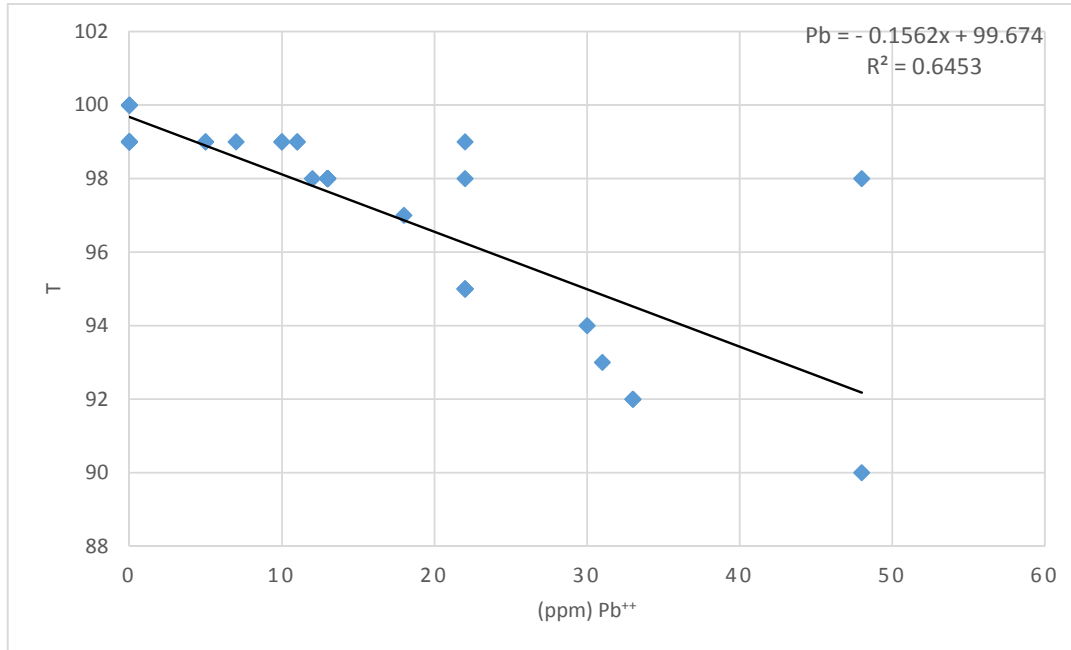


*Mario Cumpa Cayuri*  
Ing. Mario Cumpa Cayuri  
Reg. CIP. 16188  
CONSULTOR AMBIENTAL DREM-GR-CUSCO  
CATEGORIA I Y II



### ANEXO N° 03

#### CURVA PATRÓN PARA LA LECTURA DE TRANSMITANCIA DE PLOMO POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA



La lectura de la transmitancia fue transcrita a la concentración de plomo en miligramos por litro (mg/L de Pb) considerando la curva patrón., con los datos que aparecen en las tablas 2,3 y 4.

De acuerdo al valor de la  $R^2 = 0.6453$ , estaría indicando alta confiabilidad de la curva, los datos que aparecen alejados de la curva, se debería a que durante el proceso de desarrollo de la planta se presentan aspectos como; disminución de nutrientes en el suelo, cambios de temperatura, humedad del suelo, desarrollo propio de la planta.

**ANEXO N° 04  
REGISTRO DE TEMPERATURAS DEL INVERNADERO**

**UNSAAC 2011-2012**

DIA	HORA	ESTADO DEL TIEMPO	TEMPERATURA °C
C- 03-08-11 (ALMACIGOS)	09:00 a.m.	Cielo nublado	17
	12:00 a.m.	Ligeramente soleado	29
	04:00 p.m.	Cielo parcialmente nublado	15
C-04-09-11 (TRANSPLANTE)	09:00 a.m.	Cielo despejado	18
	12:30 p.m.	Cielo soleado	30
	05:00 a.m.	Cielo despejado	15
C-19-09-11	09:00 a.m.	Cielo parcialmente nublado	17
	12:30 p.m.	Cielo soleado	28
	05:00 p.m.	Parcialmente nublado	15
C-03-10-11	09:00 a.m.	Cielo nublado	16
	12:00 a.m.	Ligeramente soleado	25
	05:00 p.m.	Cielo despejado	15
C-19-10-11	09:00 a.m.	Parcialmente nublado	18
	12:00 a.m.	Cielo soleado	30
	05:00 p.m.	Cielo despejado	15
C-06-11-11	09:00 a.m.	Cielo despejado	18
	12:30 p.m.	Cielo soleado	28
	05:00 p.m.	Cielo despejado	17
C-24-11-11	09:00 a.m.	Parcialmente nublado	17
	12:30 p.m.	Cielo soleado	30
	05:00 p.m.	Cielo despejado	16
C-12-12-11	09:00 a.m.	Cielo despejado	15
	12:30 p.m.	Cielo soleado	29
	05:00 p.m.	Cielo despejado	17
C-27-12-11	09:00 a.m.	Cielo nublado	14
	12:30 p.m.	Ligeramente nublado	28
	05:00 p.m.	Cielo nublado	15
C-13-01-12	09:00 a.m.	Cielo nublado	16
	12:30 p.m.	Cielo soleado	30
	05:00 p.m.	Cielo despejado	17
C-30-01-12 (CORTE)	09:00 a.m.	Cielo despejado	18
	12:30 p.m.	Cielo soleado	30
	05:00 p.m.	Cielo despejado	15

Fuente: Datos propios



ANEXO N° 05 :  
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
Av. de la Cultura 722 Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
Pabellón C - Of. 106 Teléfono - fax - modem: 224831

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA  
INFORME DE ANÁLISIS

No 0128-11-IAQ



SOLICITANTE

MARGOT PAIVA PRADO

MUESTRA

Suelo: 1 Parcela 1 (Tesis Doctoral)

Procedencia Puna marka

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA

6/12/07/2011

RESULTADO ANÁLISIS

pH	5.2
C.E. uS/cm	231.0
Materia Orgánica (%)	3.4
Nitrógeno (%)	0.168
Fósforo ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	56.0
Potasio ppm K <sub>2</sub> O	78.0
C.I.C. meq/100	11.4
C (%)	1.28

Textura.

Arcilla %	25.0
Limo %	33.0
Arena %	42.0

=====  
Densidad cm<sup>3</sup>/gr. 1.2030

Cusco, 17 de Julio 2011

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
 Unidad de Prestación de Servicios Análisis  
 Margarita Herrera Arriñaga  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
 DE ANÁLISIS QUÍMICO

## ANEXO N° 6 TRATAMIENTO DE DATOS

### ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

- Obtenido los datos de absorción atómica se determinó la transmitancia para cada muestra la cual fue transcrita a miligramos por litro de plomo según la curva patrón Anexo N°3
- Obtenida la cantidad de plomo absorbido por litro según la transmitancia se procede a calcular la cantidad real absorbida por cada muestra según el volumen aforado.

Peso Pb

$$\text{absorbido (mg)} = \frac{\text{mg/l Pb} \times 50\text{ml}}{1000}$$

1000

Obtenido este resultado se procede a realizar la proyección para determinar la cantidad de plomo absorbido por kilogramo de muestra seca considerando la relación entre el peso de la muestra seca y la cantidad de plomo absorbido.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los tratamientos se establecieron con un arreglo factorial de bloques randomizados al azar con tres tratamientos, cuatro concentraciones y cuatro repeticiones haciendo un total de 48 unidades experimentales debidamente distribuidas (ver tabla N° 6).

Se realizaron los análisis de varianza factorial para los tratamientos y concentraciones mediante el Software IBM SPSS Statistics Versión 20. Los datos fueron analizados a través del ANOVA, a fin de determinar las

Diferencias significativas en absorción y/o acumulación del metal en las diferentes estructuras de la planta de *Amaranthus spinosus* (raíz, tallo, Hojas e inflorescencia), previa comprobación de la normalidad y homogeneidad de varianzas para lo cual se utilizó la prueba de Kolmogorov y Smirnov y, Shapiro Wilck , para determinar la normalidad y el test de Levene para la homogeneidad de varianzas.

Seguida de una prueba múltiple de comparación de medias de Tukey (nivel de significancia  $p < 0,05$ ).





ANEXO N° 7

**NORMAS LEGALES ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD  
AMBIENTAL PARA SUELOS DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM**

El Peruano  
Lima, lunes 25 de marzo de 2013

 **NORMAS LEGALES**

**491497**

Que, el artículo 31° de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas; así como referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, este Ministerio tiene como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), que deberán contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados o modificados mediante Decreto Supremo;

Que, la Política Nacional del Ambiente, aprobada mediante Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, consigna entre los Lineamientos de Política del Eje 2: Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, referidos al control integrado de la contaminación, el de contar con parámetros de contaminación para el control y mantenimiento de la calidad del aire, agua y suelo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 225-2012-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el Período 2012-2013, estando programada la elaboración del ECA para Suelo;

Que, asimismo, la Agenda Nacional de Acción Ambiental – AgendAmbiente 2013-2014, aprobada por Resolución Ministerial N° 026-2013-MINAM, establece en su Objetivo 9 – Prevenir y Disminuir la Contaminación de los Suelos, la aprobación e implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, por el Ministerio del Ambiente;

Que, en el marco de lo dispuesto en el Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales aprobada por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, la propuesta normativa fue sometida a Consulta Pública, habiéndose recibido aportes y comentarios para su formulación;

Que, en ese sentido, corresponde aprobar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el artículo 118° de la Constitución Política del Perú.

DECRETA:

**Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo**

Apruébese los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación**

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia.

**Artículo 3°.- Definiciones**

Para los fines de la presente norma, se utilizarán las definiciones contenidas en el Anexo II del presente Decreto Supremo.

**Artículo 4°.- Prohibición de mezcla de suelos**

Prohibase la adición de un suelo no contaminado a un suelo contaminado, con la finalidad de reducir la concentración de uno o más contaminantes para alcanzar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

**Artículo 5°.- Instrumentos de Gestión Ambiental y el ECA para Suelo**

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son referente obligatorio en el diseño y aplicación de

**AMBIENTE**

**Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo**

DECRETO SUPREMO  
N° 002-2013-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, según el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, referido al rol de Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley;

491498

 **NORMAS LEGALES**

El Peruano  
Lima, lunes 25 de marzo de 2013

todos los instrumentos de gestión ambiental, lo que incluye planes de descontaminación de suelos o similares.

**Artículo 6°.- Aplicación del ECA para Suelo para proyectos nuevos**

Para el caso de proyectos nuevos, los titulares están obligados a determinar como parte de su Instrumento de Gestión Ambiental, la concentración de las sustancias químicas, que caracteriza sus actividades extractivas, productivas o de servicios, en el suelo de su emplazamiento y áreas de influencia, estén o no comprendidas en el Anexo I de la presente norma, lo que constituirá su nivel de fondo.

En base a lo señalado en el párrafo precedente, se establecerán los mecanismos y acciones a incluir en la estrategia de manejo ambiental, medidas o planes del Instrumento de Gestión Ambiental correspondiente.

**Artículo 7°.- Aplicación de ECA para Suelo en actividades en curso**

Los titulares con actividades en curso deberán actualizar sus instrumentos de gestión ambiental aprobados por la autoridad competente, en concordancia con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, en un plazo no mayor de doce (12) meses, contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo.

**Artículo 8°.- Planes de Descontaminación de Suelos (PDS)**

Cuando se determine la existencia de un sitio contaminado derivado de las actividades extractivas, productivas o de servicios, el titular debe presentar el Plan de Descontaminación de Suelos (PDS), el cual es aprobado por la autoridad competente.

El PDS determina las acciones de remediación correspondientes, tomando como base los estudios de caracterización de sitios contaminados, en relación a las concentraciones de los parámetros regulados en el Anexo I. En caso el nivel de fondo de un sitio excediera el ECA correspondiente para un parámetro determinado, se utilizará dicho nivel como concentración objetivo de remediación.

Para sitios afectados mayores a 10000 m2, se podrá tomar como base los niveles de remediación que se determinen del estudio de evaluación de riesgos a la salud y al ambiente, a cargo del titular de la actividad. Para el caso de la evaluación de riesgos a la salud humana, la autoridad competente requerirá la opinión técnica favorable de la Autoridad de Salud, previa a la aprobación del PDS.

Las entidades de fiscalización ambiental o autoridades competentes podrán identificar sitios contaminados y exigir, a través de estas últimas, la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos, que deberán ser presentados en un plazo no mayor de doce (12) meses, contados desde la fecha de notificación al titular de la actividad extractiva, productiva o de servicios, responsable de la implementación de las medidas de remediación correspondientes.

El plazo para la ejecución del PDS no será mayor a tres (03) años, contados desde la fecha de aprobación del mismo. Solo por excepción y en caso técnicamente justificado, se podrá ampliar este plazo por un (01) año como máximo.

**Artículo 9°.- Descontaminación de Suelos derivados de una emergencia**

En casos de emergencia, el titular deberá activar el Plan de Contingencia correspondiente, procediendo a ejecutar inmediatamente las acciones de remediación destinadas a reducir los impactos ocasionados. En caso el titular de la actividad no contara con este instrumento, ello no lo exime de la ejecución inmediata de medidas destinadas a cumplir con los ECA de suelo vigentes. En ambos casos señalados anteriormente, el cronograma de remediación es remitido a la entidad de fiscalización ambiental correspondiente para el seguimiento del cumplimiento del mismo.

**Artículo 10°.- Planes de Descontaminación de Suelos (PDS) derivados de actividades extractivas, productivas o de servicios**

Los titulares con actividades en curso, cuenten o no con un instrumento de gestión ambiental aprobado o vigente, deberán realizar un muestreo exploratorio del

suelo dentro del emplazamiento y áreas de influencia de sus actividades extractivas, productivas o de servicios, debiendo comunicar los resultados obtenidos a la autoridad competente y a la entidad de fiscalización ambiental correspondiente.

Si como resultado del muestreo señalado encontrasen sitios contaminados, deberán presentar el Plan de Descontaminación de Suelos respectivo a la autoridad competente para su aprobación, en un plazo no mayor de doce (12) meses, contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo.

**Artículo 11°.- Análisis de Muestras**

El análisis de las muestras de suelo deberá ser realizado por laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), para los métodos de ensayo señalados en el Anexo I de la presente norma. En tanto no se disponga de laboratorios acreditados se utilizarán los laboratorios aceptados expresamente por las autoridades competentes.

**Artículo 12°.- Contaminantes no comprendidos en el Anexo I**

En caso que la actividad genere o maneje sustancias químicas no comprendidas en el Anexo I, se aplicará lo establecido en el numeral 33.3 del artículo 33° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

**Artículo 13°.- Incumplimiento de las obligaciones**

El incumplimiento de las obligaciones comprendidas en la presente norma constituye infracciones administrativas sancionables por las entidades de fiscalización ambiental, para lo cual se encuentran facultadas a ejercer las acciones de supervisión y fiscalización correspondientes.

La responsabilidad administrativa será objetiva e independiente de la responsabilidad civil o penal que pudiera derivarse por los mismos hechos.

**Artículo 14°.- Fondos de Garantía**

Las autoridades competentes deben establecer mecanismos para generar fondos de garantía que aseguren el cumplimiento del Plan de Descontaminación de Suelos por parte de los titulares de las actividades extractivas, productivas y de servicios.

**Artículo 15°.- Revisión del ECA para suelo**

El Ministerio del Ambiente complementará o modificará, mediante Decreto Supremo, lo dispuesto en la presente norma.

**Artículo 16°.- Vigencia**

El presente Decreto Supremo entrará en vigencia al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

**Artículo 17°.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

**Primera.-** El Ministerio del Ambiente aprobará la Guía para Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos en un plazo no mayor de tres (03) meses, contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo.

**Segunda.-** El Ministerio del Ambiente aprobará la Guía para la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente, en un plazo no mayor de seis (06) meses, contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo, sin perjuicio del cumplimiento de los Planes de Descontaminación de Suelos aprobados.

**Tercera.-** Para el caso de pasivos ambientales de hidrocarburos y de minería, se utilizarán los ECA para suelo aprobados mediante la presente norma, bajo los procedimientos establecidos en la Ley N° 29134, Ley que Regula los Pasivos Ambientales del Subsector Hidrocarburos y su Reglamento, así como en la Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, su Reglamento y la Ley N° 28090, Ley que regula el Cierre de minas y su Reglamento.



El Peruano  
Lima, lunes 26 de marzo de 2013

**NORMAS LEGALES**

491499

**Cuarta.-** El Ministerio del Ambiente, mediante Resolución Ministerial, dictará las normas complementarias para la mejor aplicación del presente Decreto Supremo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinticuatro días del mes de marzo del año dos mil trece.

OLLANTA HUMALA TASSO  
Presidente Constitucional de la República

MANUEL PULGAR VIDAL OTALORA  
Ministro del Ambiente

**ANEXO I  
ESTÁNDARES DE CALIDAD  
AMBIENTAL PARA SUELO**

N°	Parametros	Usos del Suelo			Metodo de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos	
<b>I Orgánicos</b>					
1	Benceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
2	Tolueno (mg/kg MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B EPA 8021-B
3	Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B
4	Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
5	Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
6	Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
7	Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/kg MS)	1 200	1 200	5 000	EPA 8015-M
8	Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS)	3 000	3 000	6 000	EPA 8015-D
9	Benzo(a) pireno (mg/kg MS)	0,1	0,7	0,7	EPA 8270-D
10	Bifenilos policlorados - PCB (mg/kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D
11	Aldrin (mg/kg MS) <sub>19</sub>	2	4	10	EPA 8270-D
12	Endrin (mg/kg MS) <sub>19</sub>	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
13	DDT (mg/kg MS) <sub>21</sub>	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
14	Heptacloro (mg/kg MS) <sub>21</sub>	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
<b>II Inorgánicos</b>					
15	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
16	Arsénico total (mg/kg MS) <sub>22</sub>	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
17	Bario total (mg/kg MS) <sub>23</sub>	750	500	2 000	EPA 3050-B EPA 3051
18	Cádmio total (mg/kg MS) <sub>24</sub>	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) <sub>25</sub>	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
21	Plomo total (mg/kg MS) <sub>26</sub>	70	140	1 200	EPA 3050-B EPA 3051

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)

DIN: German Institute for Standardization

MS: materia seca a 105 °C, excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe exceder 40 °C, para cianuro libre se debe realizar el secado de muestra fresca en una estufa a menos de 10 °C por 4 días. Luego de secada la muestra debe ser tamizada con malla de 2 mm. Para el análisis se emplea la muestra tamizada < 2mm.

Nota 1: Plaguicidas regulados debido a su persistencia en el ambiente, en la actualidad está prohibido su uso, son Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP).

Nota 2: Concentración de metales totales.

**ANEXO II  
DEFINICIONES**

**Autoridad competente:** Entidad del Estado del nivel nacional, regional o local que con arreglo a sus atribuciones y según lo disponga su normativa específica ejerce competencia en materia de evaluación de impacto ambiental, en el marco de lo establecido por la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, y demás disposiciones complementarias o modificatorias.

**Caracterización de sitios contaminados:** Determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación.

**Contaminante:** Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.

**Emergencia:** Cuando la contaminación del sitio derive de una circunstancia o evento, indeseado o inesperado, que ocurra repentinamente y que traiga como resultado la liberación no controlada, incendio o explosión de uno o varios materiales peligrosos o residuos peligrosos que afecten la salud humana o el ambiente, de manera inmediata.

**Entidad de fiscalización ambiental:** Entidad del Estado del nivel nacional, regional o local que tiene atribuida de forma expresa alguna o todas las funciones comprendidas en el macroproceso de fiscalización ambiental (evaluación, supervisión, fiscalización y sanción), en el marco de lo establecido por la Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, y demás disposiciones complementarias o modificatorias.

**Evaluación de riesgos a la salud y el ambiente:** Es el estudio que tiene por objeto definir si la contaminación existente en un sitio representa un riesgo tanto para la salud humana como para el ambiente, así como los niveles de remediación específicos del sitio en función del riesgo aceptable y las acciones de remediación que resulten necesarias.

**Fracción de hidrocarburos F1 o hidrocarburos fracción ligera:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono (C<sub>5</sub> a C<sub>10</sub>). Los hidrocarburos fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasavión, gasolvente, gasolinas, gas nafta.

**Fracción de hidrocarburos F2 o hidrocarburos fracción media:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre diez y veintiocho átomos de carbono (C<sub>10</sub> a C<sub>28</sub>). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasoleo, diesel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasavión, gasolvente, gasolinas, gas nafta.

**Fracción de hidrocarburos F3 o hidrocarburos fracción pesada:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre veintiocho y cuarenta átomos de carbono (C<sub>28</sub> a C<sub>40</sub>). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, combustóleo, parafinas, petrolatos, aceites derivados del petróleo.

**Nivel de fondo:** Concentración en el suelo de los químicos regulados que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada.

**Plan de Descontaminación de Suelos:** Instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad remediar los impactos ambientales originados por una o varias actividades pasadas o presentes en los suelos. Los tipos de acciones de remediación que se podrán aplicar,



## REGISTRO FOTOGRAFICO



Foto 1. Preparación del suelo para ser colocado en los maceteros



Foto 2. Proceso de contaminación del suelo con las diferentes concentraciones de plomo



**Foto 3. Plántulas de *Amaranthus spinosus* transplantadas a los diferentes maceteros los que se encuentran debidamente distribuido en bloques randomizados.**



**Foto 4. Observación de las condiciones vegetativas de *Amaranthus spinosus* en los diferentes bloques.**





Foto 5. Plantas de *Amaranthus spinosus* culminado el crecimiento fisiológico y en plena floración, etapa para ser extraídas y analizadas.



Foto 6. Extraída la planta, se procede a la medición de la raíz, tallo e inflorescencia





**Foto 7. Separación de raíz, tallo, hojas e inflorescencia para registrar el peso y largo de cada uno de los órganos de la planta.**



**Foto 8. Una vez separado los diferentes órganos de la planta se procede al embolsado para ser transportado al laboratorio**



Foto 9. Medida de cada una de las partes de a planta



Foto 9. Biomasa vegetal, raíz,tallos , hojas e inflorescencia de *Amaranthus spinosus* debidamente pesado y listo para ser secado en la mufla





Foto 10. Muestra seca de *Amaranthus spinosus* debidamente pesado y lista para ser secado en la mufla



Foto 11. Muestras de biomasa de las diferentes partes vegetativas(raiz, tallo, hojas e inflorescencia) colocadas al horno para la incineración





Foto 12. Muestras debidamente diluidas con el ácido nítrico para su posterior lectura en el EAA



Foto 13. Las muestras listas para el proceso de lectura en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica



Foto 14; Espectrofotómetro de Absorción Atómica  
Marca(CARL ZEISS. JENA - AAS1N)



Foto 15: Medición de la absorción del plomo en las diferentes muestras  
De *Amaranthus spinosus*.

RELLENO SANITARIO DE KEHUAR UBICADO EN LA PROVINCIA DE ANTA

*AÑO 2010*



*AÑO 2015*





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA  
ESCUELA DE POSTGRADO  
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS  
CONTAMINADOS CON PLOMO UTILIZANDO  
*Amaranthus spinosus* – Amaranthaceae EN  
CUSCO DEL 2012

PROYECTO DE TESIS PRESENTADA POR:  
M.Sc. GRETA MARGOT PAIVA PRADO  
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES.

AREQUIPA - PERÚ

2014

## ÍNDICE

I.- PREÁMBULO	4
II.- PLANTEAMIENTO TEÓRICO .....	5
1.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.1.- ENUNCIADO DEL PROBLEMA.	5
1.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	5
2.- OBJETIVOS	9
3.- MARCO TEÓRICO	9
3.1.- ESQUEMA DE CONCEPTOS BÁSICOS.	9
3.1.1 DE LOS SUELOS.....	11
3.1.2.- CONTAMINACIÓN DE SUELOS.....	12
3.1.3.- ACUMULACION DE METALES PESADOS EN EL SUELO.....	12
3.1.4.- REACCIONES DEL SUELO ANTE LA CONTAMINACIÓN.....	13
3.1.5- Propiedades Control del Suelo.....	14
3.1.6.- EL SUELO COMO REGULADOR DE LA DISPONIBILIDAD DE LOS METALES PESADOS. .....	16
3.1.7.- METALES PESADOS. ....	17
3.1.8.- CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.....	17
3.1.9.- METALES PESADOS EN EL AMBIENTE. ....	18
3.1.10.- BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES PESADOS.....	19
3.1.11.- PLOMO .....	20
3.1.12.- BASES TEÓRICAS.....	29
3.1.13.- Ventajas y limitaciones de la fitorremediación.....	32
3.1.14.- Mecanismos de Fitorremediación .....	36
3.1.14.1.Especie botánica como fitorremediadora.- .....	40
3.2.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.	41
4.- HIPÓTESIS	53
5.-OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	53
5.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA	55
III.- PLANTEAMIENTO OPERACIONAL.....	56
1.- TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN.....	56
1.1.- TÉCNICA.	56

1.2.- INSTRUMENTOS	59
2.- CAMPO DE VERIFICACIÓN.....	61
2.1.- UBICACIÓN ESPACIAL	61
2.2.- UBICACIÓN TEMPORAL	61
2.3.- UNIDADES DE ESTUDIO.	62
3.- ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS. ....	62
3.1.- ORGANIZACIÓN.	62
3.2.- RECURSOS.	62
3.3.- VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO.	62
4.- ESTRATEGIA PARA MANEJAR LOS RESULTADOS.....	62
4.1.- A NIVEL DE SISTEMATIZACIÓN.	62
4.2.- A NIVEL DE ESTUDIO DE LOS DATOS.	63
4.3.- A NIVEL DE CONCLUSIONES.	64
4.4.- A NIVEL DE RECOMENDACIONES.	64
IV.- CRONOGRAMA	66





## I.- PREÁMBULO

Perú a pesar de ser un país que está trabajando en los últimos años fuertemente en la conservación de sus recursos (suelo, agua, flora, fauna, aire), presenta muchos suelos contaminados con metales pesados, particularmente con cobre, zinc, plomo, As. debido a las actividades realizadas por la industria, refinerías, procesos de soldadura, agricultura, a través de los fertilizantes, plaguicidas, las industrias de baterías, las pinturas, barnices, aceites, lubricantes, botaderos de residuos sólidos y la que genera mayor contaminación la minería en las diferentes zonas del país, acciones estas que no presentan procesos de remediación.

Si bien existen estudios sobre fitorremediación con utilización de distintas especies de plantas caso los géneros *Tajetes*, *Helianthus*, *Arabidopsis*, *Populus*, *Thalspi*, *Amaranthus*, *Panicum*, en muchos otros países como Argentina, México, Costa Rica; No se dispone de información sobre el uso de plantas para fitorremediación especialmente de variedades nativas caso para Perú y especialmente para Cusco que sean consideradas como hiper acumuladoras de metales pesados en suelos, a lo que se suma la falta de implementación de buenas prácticas y aplicación de nuevas tecnologías en los diferentes procesos industriales que ha desembocado en la contaminación de suelos y aguas con metales pesados como el Cadmio, Zinc, Arsénico, y Plomo.

Por tal motivo se está utilizando la especie *Amaranthus spinosus* (jatacco silvestre, mula jatacco, opa jatacco) en el tratamiento de suelos contaminados con plomo (Pb), es una especie que se encuentra en nuestro medio

La poca información o carencia de metodologías de fitorremediación para suelos contaminados de la Región, con metales pesados permite implementar esta técnica para la eliminación selectiva del contaminante plomo y recuperar los suelos para su posterior uso.

El presente estudio tiene la finalidad de cuantificar la absorción de plomo en las diferentes partes de la planta (raíz, tallo y hojas e inflorescencia).

## II.- PLANTEAMIENTO TEÓRICO

### 1.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1.- ENUNCIADO DEL PROBLEMA.

FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO  
UTILIZANDO *Amaranthus spinosus*–Fam.AMARANTHACEAE EN  
CUSCO 2012

#### 1.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

##### A.- ÁREA DEL CONOCIMIENTO.

Campo: Ciencias Ambientales

Área: Medio ambiente- Estudio de suelos

Línea Contaminación de suelos por metales pesados

Tópico: fitorremediación.

##### B.- ANÁLISIS DE VARIABLES:

Operacionalización de variables.

VARIABLE	INDICADORES	SUBINDICADORES
V. Independiente:  Cantidad de plomo	- 0 concentración - 200 ppm / kg.de suelo - 400 ppm / Kg. de suelo - 600 ppm / Kg. de suelo .	5 Kg. De suelo 5 Kg. De suelo 5 Kg. De suelo 5 Kg. De suelo
V. Dependiente:  Absorción de plomo	Cantidad de absorción de Pb  - Partes fisiológicas de la planta	Baremo Cantidad absorbida en: Raíz Tallo y hojas Inflorescencia

### **C.- INTERROGANTES BÁSICAS.**

1. ¿*Amaranthus spinosus* será una especie con capacidad remediadora de suelos contaminados con plomo?.
2. ¿En que parte de la planta ( raíz, hojas y tallos, Inflorescencia) acumulará mayor cantidad del contaminante?.
3. ¿La capacidad de fitorremediación de *Amaranthus spinosus* dependerá de la concentración de plomo en los suelos?

### **D.- TIPO DE INVESTIGACIÓN:**

De acuerdo al ámbito es de observación experimental y laboratorio de acuerdo a la temporalidad es transversal y de acuerdo a la técnica es experimental evaluativa

### **E.- NIVEL DE INVESTIGACIÓN:**

Experimental y laboratorio

### **1.3.- JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

El compromiso del tratamiento de los suelos contaminados con metales pesados a través de la fitorremediación , será impulsar que las actividades industriales, las refinerías, explotaciones mineras y otros consideren dentro de sus planes de manejo ambiental la utilización de plantas hiperacumuladoras de metales pesados para llevar a cabo acciones de eliminación o transformación de éstos metales y tener suelos limpios.

Este proyecto se enmarca dentro de la política ambiental Regional, por cuanto esta busca hacer ambientalmente sustentable el proceso de desarrollo, velando por el derecho a vivir en un ambiente sano, libre de contaminación, La protección del entorno, la preservación de la naturaleza, el fin último de la política ambiental es mejorar la calidad de vida de los peruanos y de las generaciones futuras.

La ventaja de la utilización de plantas como fitoremediadoras de los metales pesados es absorberlos y acumularlos selectivamente cuando



estos se encuentran en exceso, es una práctica innovadora, aunque evidentemente el tiempo requerido para llevar a cabo este tipo de remediación es más largo que el utilizado en otras tecnologías (ventilación de suelos, bombeo de aguas subterráneas, lavado de suelo, técnicas químicas etc.). Es una de las técnicas de remediación de suelos con mayores beneficios y mejores relaciones costo-efectividad, es una tecnología limpia viable y sostenible en el tiempo, de bajo costo que permitirá descontaminar los suelos y evitar posibles intoxicaciones tanto en animales como en el hombre. provocando la acumulación de metales pesados en los suelos, agua y, flora, repercutiendo en la calidad del ambiente caso desaparición de la cobertura vegetal acelerando la erosión del suelo, baja productividad de éstos y consecuentemente el abandono de tierras por parte de las comunidades y, muchas veces creando conflictos sociales con las diferentes empresas mineras e industrias.

Esta es fundamentalmente la razón de acometer el presente trabajo de investigación: buscar la generación de estrategias tecnológicas como es la fitorremediación acorde a la realidad de nuestro país, que permita el manejo de biotratamientos con resultados finales sin riesgo para la salud y mantener un ambiente sano, más estético y reconvertir en lo posible las tierras contaminadas por metales pesados para otros usos, y mantener la salud del ambiente.

### **Relevancia Humana**

Es pertinente realizar el presente estudio debido a que alcanza relevancia humana, en el sentido de que a través de la presente investigación se intentará solucionar el problema de la contaminación de suelos con plomo, teniendo en cuenta que el suelo constituye un puente entre la atmósfera y las aguas subterráneas, por lo que cualquier tipo de

Impacto que incide sobre el redundará en el agua, aire y tendrá repercusiones en la calidad de los productos y por tanto en la calidad de vida del hombre

### **Relevancia Científica**

La investigación se realizará aplicando el método científico, considerando la observación experimental y de laboratorio, ambos permitirán conocer la cantidad de plomo que absorbe el *Amaranthus spinosus* con una posterior descontaminación de los suelos, solucionando las interrogantes planteadas; Resultados estos que permitirán desarrollar investigaciones similares en otros ámbitos del país con especies vegetales con alta capacidad de resistencia para acumular metales pesados

### **Relevancia Social**

Considerando que las actividades económicas más importantes en el Perú son la minería, transporte, agricultura, plantas de fundiciones, transformación de cobre, zinc, plomo etc. Que emiten contaminantes que generan daño ambiental a los ecosistemas donde se ubican, ocasionando en muchos casos abandono de las tierras por parte de los agricultores y, muchas veces se generan conflictos sociales con las diferentes empresas.

### **Originalidad**

La presente investigación se considera innovadora, en razón a que existen estudios relacionados al presente problema con diferentes especies vegetales en diferentes países de América Latina, así como a nivel Nacional, por tanto la presente investigación servirá para la comparación, contrastación y, discusión con los resultados obtenidos por otros investigadores, no existiendo experimentos con *Amaranthus spinosus* en el Perú y menos en la Región Sur del Perú.

### **Viabilidad**

Es factible su ejecución por que se cuenta con la infraestructura del invernadero de la Facultad de Ciencias Biológicas, así como los

laboratorios de la Facultad de Química de la UNSAAC, y del laboratorio particular QUIMICA - LAB, para los análisis de absorción atómica.

## 2.- OBJETIVOS

1. Evaluar la capacidad de absorción de plomo en la raíz de *Amaranthus spinosus*.
2. Evaluar la capacidad de acumulación de plomo en tallo y hojas de *Amaranthus spinosus*.
3. Evaluar la capacidad de acumulación de plomo en la inflorescencia de *Amaranthus spinosus*.

## 3.- MARCO TEÓRICO

### 3.1.- ESQUEMA DE CONCEPTOS BÁSICOS.

A través de la historia y especialmente desde la Revolución Industrial, los hombres han producido contaminantes muy peligrosos, los cuales han sido gradualmente depositados en el ambiente. (Granadillo, 1993), expresó que los altos niveles de metales tóxicos no biodegradables, encontrados en sectores urbanos, son el resultado de una actividad antropogénica indiscriminada. En la Antigüedad, el plomo era común y probablemente fue usado primero con propósitos cosméticos y para hacer adornos (Aitcheson, 1960).

La toxicidad del plomo fue conocida por los antiguos egipcios quienes lo usaron como veneno con propósitos homicidas. No solamente los romanos y egipcios usaron el plomo sino que también lo hicieron los antiguos griegos. Geólogos franceses han descubierto que la nieve que cayó durante el tiempo de la dominación griega, contenía una inesperada alta concentración de plomo. El monto de plomo precipitado de la atmósfera entre el año 500 A.C. y el 300 D.C. representó un 15% de la contaminación causada en este siglo por la gasolina. Hay evidencias de su uso en China y en México pre-colombino. (Emsley, 1994).

En la actualidad, el desarrollo de procesos industriales usando plomo ha sido extraordinario y, a pesar de las evidencias de envenenamientos,



todavía está siendo usado en el ámbito mundial. El uso del plomo se ha incrementado considerablemente en este siglo y continúa haciéndolo. Es importante valorar el efecto que esta desproporcionada movilización del metal está teniendo en sus niveles ambientales. A pesar de las medidas tomadas para evitar o controlar la contaminación con plomo, los seres humanos siempre han estado expuestos al plomo, pero los récords de envenenamiento se han incrementado sustancialmente en décadas recientes como un producto de la industrialización. En consecuencia, hay la necesidad de reducir significativamente el contaminante del ambiente y controlar la exposición de los seres humanos a su toxicidad. La contaminación del ambiente es perversa en las sociedades industrializadas (Aranguren, 1999).

Una de las consecuencias más negativas que el mundo ha soportado después de la segunda guerra mundial ha sido la revolución industrial dispersando contaminantes en el agua, aire, suelo; De estos el suelo es uno de los recursos más vulnerables por cuanto es de naturaleza estática y donde los contaminantes pueden persistir por tiempos indefinidos sin poder ser removidos. Estos contaminantes pueden alcanzar niveles de concentración altos que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrientes, variación del pH generando en la mayoría de los casos suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad de los microorganismos de la rizósfera, que dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo, y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de las plantas al ataque por insectos plaga y enfermedades afectando su desarrollo (Zhang et al. 2000, citado por Sierra R. 2006).

El plomo (Pb) es un contaminante ambiental mayor y altamente tóxico para el hombre. Su presencia en el ambiente se debe principalmente a actividades antropogénicas como las actividades agrícolas, actividades industriales, minería, fundición, galvanoplastia, explotaciones de petróleo, el refinado de oro y el uso que se dio de gasolinas con plomo, botaderos a cielo abierto. El Pb generado de esas actividades puede permanecer como residuo por 1000 a 3000 años en suelos de clima templado. El plomo (Pb), el arsénico (As), el cadmio (Cd) y el zinc (Zn) y otros metales pesados pueden ser absorbidos en sus tejidos hasta niveles altamente tóxicos y, los altos contenidos de Pb en suelo pueden provocar problemas de toxicidad en plantas, animales y humanos. (Rodríguez, Ortiz. et al., 2006)

### 3.1.1 DE LOS SUELOS.

La salud del suelo se debe a una serie de atributos físicos, químicos y biológicos, como el contenido de nutrientes, la capacidad amortiguadora, capacidad de destrucción de patógenos, la inactivación de compuestos tóxicos etc., sin embargo al llevar a cabo un aumento y en ocasiones un mal uso del suelo conduce a un proceso de contaminación, es muy probable que termine en una fase de mal funcionamiento o degradación.

Se puede definir la contaminación del suelo como la existencia de un agente o conjunto de agentes que provocan una perturbación en el medio o como los procesos que disminuyen la capacidad potencial del suelo para producir bienes o regenerarse.

En general los suelos poseen una amplia capacidad amortiguadora frente a una determinada presión, pero si esta capacidad es superada es que el suelo ya está contaminado

Los propios constituyentes y propiedades del suelo son capaces de aminorar la contaminación como, el pH, materia orgánica minerales de arcilla y óxidos metálicos, reacciones de oxidación, reducción procesos de intercambio iónico fenómenos de adsorción, desorción, complejación y reacciones de precipitación y disolución. (Baudran J.2002)

### 3.1.2.- CONTAMINACIÓN DE SUELOS

La contaminación de los suelos aparece cuando una sustancia está presente a concentraciones superiores a sus niveles naturales , y tiene un impacto negativo en algunos o todos los constituyentes del mismo . Los niveles normales de metales pesados en el suelo se encuentran entre (ug g ) : 0,1-40 As; 0,01 – 2.7Cd; 0.1-8.5 Co; 1 – 3000Cr; 1- 100 Cu; 7000 – 550000 Fe; 1 -1000 Ni ; 2 – 200 Pb; y 3 – 300 Zn . Los niveles para considerar un suelo contaminado dependen del elemento en cuestión, uso del suelo y de la legislación de cada país (Bernal M. et.al. 2007)

Se define la contaminación del suelo como la existencia de un agente o conjunto de agentes que provocan una perturbación en el medio o como el proceso o conjunto de procesos que disminuyen la capacidad potencial del suelo para producir bienes o regenerarse ( Baudran J .2002).

Una de las actividades que ha generado serios problemas de contaminación por metales pesados, es el crecimiento inmoderado de la industria minera durante los dos últimos siglos . La contaminación por metales ha sido provocado por los procesos empleados para la separación de éstos , ya que se encuentran entremezclados dentro del suelo en su estado natural ( oro con cobre o, el plomo y el zinc ) (INEGI, 2005).

### 3.1.3.- ACUMULACION DE METALES PESADOS EN EL SUELO

Los metales pesados al ser incorporados al suelo pueden seguir diferentes caminos :

- Ser retenidos en el suelo , ya sea disueltos en solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción , complejación o precipitación.
- Se volatilizan a la atmosfera.
- 
- Son absorbidos por las plantas e incorporados a las cadenas tróficas.



- Pueden contaminar a las aguas superficiales o subterráneas.

Considerando el metal en cuestión, las prácticas de manejo del suelo, como el pH y la fertilización pueden tener diferentes efectos sobre la absorción, a través de una serie de estudios se ha demostrado que los suelos ácidos favorecen la hiperacumulación, de Cd. o Zn, (Brown, et al. 1999).

### 3.1.4.- REACCIONES DEL SUELO ANTE LA CONTAMINACIÓN.

El suelo tiene mecanismos de defensa ante todos los contaminantes, pero muchos de estos mecanismos están basados en la precipitación, adsorción y fijación de esos agentes. El suelo es un receptor de otros cuerpos ajenos a su constitución propia, los cuales con el tiempo pasan a ser una bomba que puede explotar en cualquier momento, cuando las condiciones del suelo cambian. Los principales componentes de la bomba química de tiempo en el suelo son los metales pesados y los compuestos orgánicos resistentes, entre ellos hay que destacar a los pesticidas, y los que llegan por acciones accidentales caso los hidrocarburos. Esta bomba puede activarse por tres espoletas diferentes relacionadas con el suelo y con el explosivo:

- Vulnerabilidad del suelo ante el contaminante almacenado, estos suelos son capaces de almacenar pequeñas cantidades y se hace notar tras las primeras llegadas del contaminante, de modo que el almacenamiento suele ser muy bajo.
- La entrada de agentes contaminantes es decisiva, las llegadas masivas no forman bombas por que el suelo no es capaz de almacenar tales cantidades y su efecto se nota de inmediato.
- Cuando las entradas son menores el efecto no se nota hasta que la acumulación es de tal calibre que la bomba estalla. ( Seoanez C.1999)

### 3.1.5- Propiedades Control del Suelo

Existen una serie de condiciones del suelo que rigen el comportamiento de esta bomba (contaminación con metales pesados ), los principales :

**pH.** Actúa facilitando el almacenamiento o provocando la detonación del contaminante en el sustrato , es uno de los factores más importantes , su valor inicial rige el comportamiento del complejo de cambio y la posible protonación de moléculas no polares , cuando el pH baja se incrementa la solubilización de los metales pesados que puede desencadenar una gran liberación de estos , también influye en la modificación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos con cargas variables , de modo que al bajar ésta disminuye la capacidad de almacenamiento y la liberación de las sustancias retenidas . La subida del pH también puede provocar el estallido de la bomba cuando el almacenado son sustancias aniónicas y cuya retención es baja.

El pH del suelo es considerado como el principal factor que afecta la biodisponibilidad de gran parte de los metales pesados pues modifica el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo (McBride et,al 1997: Kabata Pendias, 2000). El término de especiación aplicado a los metales pesados es ambiguo pues por una parte se refiere a la forma específica de un elemento según su composición isotópica estado de oxidación y /o estructura compleja o molecular, también está íntimamente relacionado con la distribución de un elemento a través de sus distintas fracciones que componen una muestra o una matriz. Por lo tanto cada especie formada en un organismo vivo puede presentar características de biodisponibilidad. Movilidad y toxicidad completamente diferente a la especie original. En suelos ácidos se produce una competencia entre los iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y los cationes metálicos por los sitios de intercambio. Un Bajo valor de PH produce la desorción (disolución) de los metales pesados, aumentando su concentración y biodisponibilidad en los suelos (Alloway 1995 , Lassat 2001). Con Excepción del Mo. Se y As As y Cr, los cuales tienden a estar mas disponibles a pH alcalinos

(Kabata- Pendias 2000) la biodisponibilidad de los metales pesados disminuye con el aumento del pH del suelo debido a su precipitación como hidroxidos insolubles, carbonatos y complejos orgánicos (Alloway,1993; Silveira et al,2003).

### **Capacidad de intercambio Catiónico .**

Actúa facilitando el almacenamiento o provocando la detención del contaminante en el sustrato, de modo que es uno de los factores más importantes su valor inicial rige el comportamiento del complejo de cambio que se pueda producir por las reacciones

Su valor es decisivo en el almacenamiento de los metales pesados y de otras sustancias de naturaleza catiónica caso las moléculas de pesticidas.

### **Potencial de oxidación.**

Es importante porque puede movilizar elementos tóxicos ocultos en los compuestos de hierro y manganeso , su modificación puede provocar la oxidación de sulfuros que pueden liberar metales precipitados y que siempre provocan una fuerte precipitación que también provocan liberaciones caso el Cd en suelos de arrozales desecados.

Contenido de materia orgánica. Afecta al complejo de cambio, a la capacidad tampón y a la actividad biológica del suelo, sin olvidar su carácter complejante y su influencia sobre la estructura y textura que afecta a la aeración del suelo.

Textura.- Es un factor dominante que afecta su uso , esta propiedad determina la disponibilidad de oxígeno y la movilidad del agua a través del suelo, permite la capacidad de cultivo y del crecimiento radicular de las plantas e influencia en la fertilidad del suelo a través del intercambio catiónico.



**Salinidad** .- El riego con aguas de mala calidad puede afectar la elevación del pH provocando un desequilibrio en la elevación catiónica del mismo , esto es importante porque se modifica la capacidad para absorber moléculas orgánicas poco polares y de gran tamaño.(Seoanez C.1999).

### **3.1.6.- EL SUELO COMO REGULADOR DE LA DISPONIBILIDAD DE LOS METALES PESADOS.**

El suelo acumula y concentra los metales pesados, debido a su capacidad de retención sobre todo en las capas superficiales, la acumulación tiene lugar en la capa biológica más activa del suelo de modo que los metales pueden ser fácilmente accesibles por las plantas y los organismos edáficos. El contenido de metales en los suelos depende de una gran variedad de factores, como el tipo de suelo y sus características físico químicas, las condiciones climáticas ya que influyen tanto en la toma de los metales por la planta como en su distribución entre los diferentes órganos vegetales. ( G. Tyler M .1994).

El suelo actúa en general como una barrera protectora de otros medios mas sencibles (hidrológicos y biológicos) , filtrando , descomponiendo neutralizando o almacenando contaminantes y evitando en gran parte su biodisponibilidad .

Esta capacidad depuradora delosuelosdepende delos contenidos de materia orgánica , carbonatos, oxihidróxidos de hierro y manganeso, de la proporción y tipo de minerales de arcilla de la capacidad de intercambio catiónico del suelo , del pH, textura, permeabilidad y actividad microbiana . Por tanto para cada situación , el poder depurador de un suelo tiene un límite . cuando se superan esos límites para una o varias sustancias , el suelo funciona como contaminado y es fuente de contaminación. (Galán et al, 2008).

### 3.1.7.- METALES PESADOS.

Se consideran como metales pesados aquellos elementos cuya densidad es igual o superior a  $5\text{gr/cm}^3$ , cuando esta en forma elemental, o cuyo número atómico es igual o superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino – térreos. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1 % y casi siempre menor del 0,01 %. , también tienen esta consideración aquellos que presentan orígenes y comportamientos semejantes como el As ,B ,Ba, y Se. (Bernal M.et.al. 2007)

Desde el punto de vista biológico, se distinguen dos grupos, aquellos que no presentan una función biológica conocida y que su presencia en los seres vivos, en cantidades mínimas lleva aparejada graves disfunciones en el funcionamiento orgánico y resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos,son principalmente; Cd,Hg, Pb, Zn, estos elementos tienen su origen en el substrato litológico, apareciendo como elementos nativos o incorporados normalmente en las estructuras de sulfuros, silicatos,carbonatos,óxidos e hidróxidos. Y otro grupo como oligoelementos o micronutrientes que tanto las plantas como los animales requieren en cantidades traza, pero superado un cierto umbral se vuelven tóxicos en este grupo se consideran : As, B, Co, Cu, Mo, Mn, Se, Zn. (Garcia y Dorronsoro,c. 2005)

### 3.1.8.- CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.

Las cantidades totales presentes en un suelo constituyen una medida pocorepresentativa de la posible toxicidad de un metal pesado. Resulta fundamental conocer la forma química bajo la que se presenta, es decir la especiación, pues la toxicidad de un elemento es muy distinta dependiendo de su presentación, que va a regular no sólo su disponibilidad ( según se encuentre disuelto, adsorbido, ligado o precipitado) sino que también el grado de toxicidad que presente va a depender de la forma química en si misma. No obstante, por su facilidad de medida y reproductibilidad, en los estudios de

contaminación se utilizan, muy frecuentemente, los valores totales para definir los umbrales de contaminación.

El tipo de sustancia contaminante y la forma bajo la que se presente (soluble, cambiante, ligada, adsorbida, ocluida ) va a influir decisivamente en el efecto contaminante sobre el agua suelo y el medio ambiente en general.(Wang et al-1992, citado por Sierra R.2006)

La gran mayoría de la contaminación generada por los metales pesados ha sido provocada por el hombre , a través de diversas actividades como ciertas prácticas agrícolas ( abuso de fertilizantes y pesticidas inorgánicos), la explotación minera el transporte, procesos industriales. Las fuentes de contaminación por plomo en México son variadas entre las que se encuentran las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, loza vidriada cocida a baja temperatura y las gasolinas con tetraetilo de plomo. (Valdez et.al.1999)

### **3.1.9.- METALES PESADOS EN EL AMBIENTE.**

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo esta en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauve S. 2000).

Los metales pesados constituyen el principal grupo de contaminantes inorgánicos de importancia a nivel mundial debido a la alta toxicidad potencial que éstos representan y su larga persistencia en el medio . Debido a que algunos cationes metálicos presentan semejanza estructural con aquellos que cumplen funciones fisiológicas importantes en las células, la presencia de metales pesados , implica un peligro para el funcionamiento de los sistemas biológicos. Elementos como el Hg, As, Sn, Pb, pueden formar iones órgano metálicos liposolubles capaces de penetrar membranas y acumularse en las células y,



aunque no tienen importancia biológica significativa como elementos traza, si se considera tóxico para organismos superiores (Neis, 1999).

Estos metales y especialmente el plomo, zinc, cadmio pueden alcanzar niveles de concentraciones que provocan efectos negativos en las propiedades física, químicas, y biológicas del suelo como : reducción del contenido de materia orgánica , disminución de nutrientes variación del pH, generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones de temperatura , alterando la presencia de los organismos edáficos y especialmente aquellos que se encuentran en la rizósfera del suelo , dificultan el crecimiento de una cobertura vegetal , propendiendo hacia la aridez y erosión de los suelos , consecuentemente aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque de una serie de insectos , plagas, enfermedades incidiendo en su desarrollo (Zhang,Q; citado por Sierra V.R.2006)

### **3.1.10.- BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES PESADOS**

De acuerdo con Adriano (1986), sólo el 10% de los metales tienen su origen dentro de los suelos, con base en lo anterior , se estima que más del 90% de dichos elementos llegan al suelo a través de deposiciones atmosféricas y como resultado de la disposición inadecuada de residuos tóxicos y algunas prácticas agronómicas . Al interior de un suelo los metales pueden encontrarse en solución , en forma de iones del metal libre o como complejos metálicos solubles, o bien asociados a distintas fracciones del suelo y absorbidas en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo y fijados en ciertos cationes de intercambio presentes en la materia orgánica, precipitados como óxidos, hidróxidos y carbamatos ( Lassat, 2002, Reichmann 2002, Basta.2004).

Los metales pesados son tóxicos sólo si se encuentran biodisponibles para ser captados por los organismos , es decir los que se encuentran solubles y los absorbidos en los sitios de intercambio. Se entiende por biodisponibilidad a la cantidad de un elemento que puede ser absorbido por un organismo y está se relaciona con las condiciones fisicoquímicas del ambiente en que se encuentra, las cuales a su vez , pueden

determinar la especiación y por lo tanto la concentración disponible para un organismo. Es por ello para predecir el efecto de un metal sobre un ecosistema terrestre, además de determinar el grado de contaminación es fundamental conocer su biodisponibilidad. Algunos factores que influyen en la biodisponibilidad y, por consiguiente en la toxicidad de los metales pesados en un suelo, son el pH, la temperatura potencial redox, capacidad de intercambio catiónico de la fase sólida (retención de arcillas y materia orgánica) y la competencia entre iones (Lloyd y Lovley, 2000).

### **3.1.11.- PLOMO**

El plomo es un metal suave, de color azul-grisáceo. Se encuentra de manera natural, pero una buena parte de su presencia en el medio ambiente se debe a su uso histórico en pinturas y gasolinas, así como a diversas actividades mineras y comerciales.

Su resistencia a la corrosión atmosférica y a la acción de los ácidos, especialmente al sulfúrico, hace que el plomo sea muy útil en la edificación, en las instalaciones de fábricas de productos químicos y en tuberías y envolturas de cables (Chipa V; Tairo R.2010).

#### **3.1.11.1.-CARACTERÍSTICAS Y FUENTES NATURALES DE PLOMO.**

El plomo es un metal escaso, se calcula en un 0.00002 % de la corteza terrestre, tiene un punto normal de fusión de 327.4 °C, un punto normal de ebullición de 1770 °C y una densidad de 11.35g/ml. Forma compuestos con los estados de oxidación de 2. El plomo es anfótero por lo que forma sales plumbosas y plúmbicas, plúmbicos y plumbados. Se encuentra en minerales como la galena (sulfuro de plomo PbS) que se utiliza como fuente de obtención la anglosita (sulfato de plomo II, PbSO<sub>4</sub>) y la cerusita (carbonato de plomo, PbCO<sub>3</sub>) (Llobet et al, 2000).

**3.1.11.2.- TIPOS DE PLOMO.** -El plomo existe tanto en forma orgánica como inorgánica.

- **Plomo inorgánico**

El plomo que se encuentra en pintura vieja, en el suelo y en varios productos. Los gases de combustión producidos por la gasolina con plomo también contribuyen a la contaminación ambiental y son parte del plomo inorgánico.

- **Plomo orgánico**

La gasolina con plomo contiene plomo orgánico antes de que el combustible sufra combustión. Hoy en día, gracias a que a partir de 1976 en Estados Unidos se ha eliminado el plomo de las gasolinas, la exposición al plomo orgánico está restringida a los contextos ocupacionales. No obstante, el plomo orgánico puede ser más tóxico que el inorgánico puesto que el cuerpo lo absorbe más fácilmente. Es por esto que la exposición potencial al plomo orgánico debe ser tenida especialmente en cuenta.

El plomo es un metal suave, denso y dúctil. Es muy estable y resiste la corrosión, aunque el agua ácida puede fugarse de tuberías, conexiones y soldadura que contengan plomo. El plomo no conduce electricidad pero es un buen escudo protector contra la radiación. Debido a estas propiedades, y gracias a que su extracción y el trabajar con él es relativamente fácil.

El plomo se ha utilizado para muchos propósitos a lo largo de miles de años. Por ejemplo, los romanos usaron el plomo para sus tuberías. Más recientemente, el plomo se ha usado como añadido en pinturas y en la gasolina para aumentar el desempeño de los motores, aunque su uso en este caso se ha revertido debido a los problemas que puede causar a la salud humana. Los usos actuales del plomo se enumeran y discuten en la sección siguiente. La acumulación del plomo en el ambiente es el resultado del uso antropogénico, lo cual ha provocado su concentración en el ambiente. Debido a su uso extendido, hoy en día el plomo se



puede encontrar dentro de cada uno de nuestros cuerpos a niveles muy superiores a los que había en la antigüedad a niveles que causan efectos adversos en la salud (Llobet,et.al 2000).

### **3.1.11.3.- USOS DEL PLOMO .**

Muchos productos metálicos contienen plomo como, metal para cojinetes, cobertura de cables, compuestos de calafateo, plomo laminado, soldadura y metal de tipos de imprenta. La mayor parte de estos productos están formados por aleaciones de plomo , las soldaduras que contienen hasta el 95% de plomo el resto es estaño, acumuladores, para la fabricación de tetra-etilo de plomo, pinturas, cerámicos, forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldaduras suaves y municiones, se usa como aditivo para aumentar el octanaje de la gasolina, el tetra-metilo de plomo es relativamente volátil puede formarse en sedimentos como resultado de la alquilación microbiana, se encuentra en forma normal como óxidos e hidróxidos y como complejos axiónicos metálicos. .(ATSDR,2005).

### **3.1.11.4.- TOXICIDAD DEL PLOMO**

A través de la historia y especialmente desde la Revolución Industrial, los hombres han producido contaminantes muy peligrosos, los cuales han sido gradualmente depositados en el ambiente. (Granadillo, 1993), expresó que los altos niveles de metales tóxicos no biodegradables, encontrados en sectores urbanos, son el resultado de una actividad antropogénica indiscriminada. En la Antigüedad, el plomo era común y probablemente fue usado primero con propósitos cosméticos y para hacer adornos (Aitcheson, 1960).

El plomo se considera como un contaminante eco toxicológico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición en humanos . La principal vía de biodisponibilidad son el suelo y el polvo, donde se concentra y por medio del cual ingresa a los organismos . El manejo inadecuado de materiales con plomo ha sido causante de numerosos problemas ambientales en todo el mundo , sin embargo no todo el plomo del suelo presenta el mismo grado de movilidad o biodisponibilidad. La

disponibilidad del plomo depende del pH del suelo de la mineralogía, textura, materia orgánica así como de la naturaleza de los compuestos de plomo contaminantes .

Estos metales y especialmente el plomo, zinc, cadmio pueden alcanzar niveles de concentraciones que provocan efectos negativos en las propiedades física, químicas, y biológicas del suelo como : reducción del contenido de materia orgánica , disminución de nutrientes variación del pH, generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones de temperatura , alterando la presencia de los organismos edáficos y especialmente aquellos que se encuentran en la rizós fera del suelo , dificultan el crecimiento de una cobertura vegetal , propendiendo hacia la aridez y erosión de los suelos , consecuentemente aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque de una serie de insectos , plagas, enfermedades incidiendo en su desarrollo (Zhang et.al 2000).

#### **3.1.11.5.- METALES PESADOS EN LA SALUD**

Los metales pesados se caracterizan por tener efecto bioacumulativo y en concentraciones superiores a las recomendadas han sido responsabilizados de causar daños en el sistema nervioso central y periférico , renal , hematopoyético y esquelético , algunos también presentan efectos carcinogénicos . La gravedad del daño depende del grado y tiempo de exposición a dichos elementos .

Los metales pesados pueden provocar diferentes efectos y síntomas sobre la salud humana . La exposición a metales como el Zinc (Zn) aun en bajas concentraciones puede provocar problemas de rigidez muscular, pérdida de apetito y nauseas. El cromo ( Cr) puede provocar cáncer en el tracto digestivo y pulmones , mientras que el manganeso (Mn) conduce a problemas de neurotoxicidad, disminuye los niveles de hemoglobina y se acumula en el tracto gastrointestinal . el cobre (Cu), es un elemento con funciones fisiológicas, en niveles altos puede ocasionar graves problemas toxicológicos debido a su acumulación en el cerebro, piel, hígado, páncreas y en el miocardio , además de dolor intestinal, daños en los riñones y anemia. Un caso particular es el plomo (Pb), es

un metal pesado con mayor toxicidad , y tiene un impacto a la salud a largo plazo, este puede causar anemia, encefalopatía , hepatitis, y síndrome nefrítico. Otro metal importante por su toxicidad es el cadmio (Cd), debido a que puede provocar cáncer, daños en el hígado, destrucción de la membrana mucosa, vómitos, diarrea, degeneración ósea, además de afectar la producción de progesterona y testosterona. La presencia del níquel (Ni) puede provocar problemas serios de riñón y pulmón.(Lesmana et.al.2009)

### **3.1.11.6. DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO**

Los metales incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

Pueden ser absorbidos por las plantas y así, incorporarse a las cadenas tróficas.

Quedar retenidos en el suelo , ya sea disueltos en la solución o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación .

Pasar a la atmósfera por volatilización.

Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.(García Dorronsoro 2005)

### **3.1.11.7.- PLOMO EN SUELOS Y PLANTAS.**

De manera particular la contaminación de los suelos por metales pesados, se ha convertido en un problema ambiental importante a nivel mundial. Existen diferentes fuentes potenciales de contaminación por éstos elementos, entre las que se encuentran aquellas cuyo origen puede ser natural ( producto de la actividad volcánica o antropogénico).

La gran mayoría de la contaminación generada por los metales pesados ha sido provocada por el hombre, a través de diversas actividades como la agricultura( el abuso de la utilización de fertilizantes y pesticidas inorgánicos), la explotación minera, transporte, procesos industriales, etc.(Valdés y Cabrera 1999).



En la naturaleza el plomo se presenta como un constituyente menor del suelo y de las plantas. Las pruebas indican que el contenido normal de plomo en el suelo es inferior a 50ppm. y que, por término medio, parece ser de 15 ppm. También se han encontrado plomo en cantidades muy variables en diferentes tipos de vegetación, se estima que el nivel natural en plantas es inferior a 5 ppm. .estas cantidades pueden aumentarse si se exponen a las plantas a elevados niveles de plomo, ya sea en el suelo o en la atmósfera. La mayor parte de plomo de las plantas obtenido del suelo se localizan en el sistema radicular, sólo pequeñas cantidades llegan a las partes aéreas de las mismas. La captación de plomo por parte de las plantas esta más relacionado con el nivel en el suelo de compuestos solubles de plomo que con el plomo total (Stocker S. 1981).

En la naturaleza los metales pesados son elementos cuya abundancia puede variar dentro de los suelos.

De forma general, esta abundancia puede reportarse en términos de porcentaje o en concentraciones (partes por millón o partes por billón)y, dependiendo de su efecto sobre los organismos, éstos pueden clasificarse en elementos esenciales y no esenciales. De esta forma, al interior de los suelos pueden encontrarse algunos metales que se consideran esenciales (Ca, Fe, Cu, Na, K, Mg, Zn, Mn, Cr.) los cuales se encuentran en forma de cationes y juegan un papel importante en reacciones bioquímicas y en el metabolismo de los organismos. Sin embargo, también existen elementos como los metales pesados (Hg, Cd, Pb y Ag), cuya función biológica se desconocen y que actúan como venenos metabólicos, ya que pueden intervenir en diversos procesos fisiológicos e inhibir diversos sistemas enzimáticos. En el suelo, pueden estar presentes en forma de iones libres o en compuestos metálicos solubles o insolubles.(Volque-Sepúlveda et.al., 2005).

### **3.1.11.8. NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO.**

Los niveles de concentración de metales en el suelo están basadas principalmente en las propiedades del suelo y, el nivel asimilable por las plantas por ejemplo por extracción con HCL de 0.1M (Wang et.al 1994). En la tabla N° 1 se observa los valores propuestos para tres metales tóxicos (Cd, Cr, Pb) y para un metaloide como el As.

### **3.1.11.9. QUÉ SUCEDE AL PLOMO CUANDO ENTRA AL MEDIO AMBIENTE**

El plomo se encuentra en el ambiente en forma natural. Sin embargo, la mayoría de los niveles altos que se encuentran en el ambiente se originan de actividades humanas. Los niveles ambientales de plomo han aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana. El mayor incremento ocurrió entre los años 1950 y 2000 y reflejó el aumento del uso de gasolina con plomo en todo el mundo. El plomo puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo y otros metales, y desde fábricas que manufacturan o usan plomo, aleaciones de plomo o compuestos de plomo. El plomo es liberado al aire cuando se quema carbón, petróleo o desechos. ([http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs13.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html))

Entre las fuentes de plomo, son las que caen al suelo desde el aire y el desgaste y desprendimiento de pedazos de pintura con plomo desde edificios, puentes y otras estructuras. Los vertederos pueden contener desechos de minerales de plomo proveniente de la manufactura de municiones o de otras actividades industriales como por ejemplo la manufactura de baterías. La disposición de productos que contienen plomo contribuye a la presencia de este metal en los vertederos municipales. Los usos del plomo en el pasado, por ejemplo en la gasolina, son una de las causas principales de la presencia de plomo en el suelo, y de los niveles más elevados de plomo que se encuentran cerca de carreteras. La mayoría del plomo en el suelo en áreas urbanas

descuidadas proviene de casas viejas con pintura con plomo y de material emitido por el escape de automóviles cuando la gasolina contenía plomo.

Pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos, lagos y arroyos cuando partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia. El plomo puede permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años. La movilización del plomo desde partículas en el suelo al agua subterránea es improbable a menos que la lluvia que cae al suelo sea ácida o «blanda.» La movilización del plomo en el suelo dependerá del tipo de sal de plomo y de las características físicas y químicas del suelo.

Entre las fuentes de plomo en el agua de superficie o en sedimentos están la deposición de polvo que contiene plomo desde la atmósfera, el agua residual de industrias que manejan plomo (principalmente las industrias de hierro y acero y las que manufacturan plomo), agua de escorrentía en centros urbanos y apilamientos de minerales.

### **3.1.11.10. PLOMO EN EL MEDIO AMBIENTE.**

El impacto de los metales pesados de origen antropogénico en el medio ambiente ha sido objeto de estudio en múltiples investigaciones, así el plomo es considerado como un contaminante ecotóxico lógico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición humana. La principal vía de biodisponibilidad son el suelo y las partículas de polvo donde se concentra y por medio del cual ingresa al organismo. El mal manejo de materiales con plomo ha sido causante de numerosos problemas ambientales en todo el mundo, es necesario indicar que no todo el plomo que se encuentra en el suelo presenta el mismo grado de movilidad o biodisponibilidad, la disponibilidad del plomo en el suelo depende del pH, de la textura, materia orgánica y de la naturaleza de los compuestos de plomo contaminantes, el suelo es uno de los



mayores reservorios en los cuales se acumula la contaminación ambiental (Alloway 1995).

**Cuadro Nº 01 Límites máximos permisibles de diferentes metales pesados y otros contaminantes en el suelo**

Contaminante Metales y Metaloides	Uso Agrícola/residencial (mg/Kg.)	Uso Industrial(mg/Kg)
Arsénico	22	260
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plomo	400	750
Selenio	390	5100
Talio	520	67
Vanadio	550	7200
Proy.Nom-147 SENARMAT/SSAL- 2004.		

Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales- México-2004

### 3.1.11.11.ACETATO DE PLOMO $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ .

Es conocido en su forma química como plomo (II) Acetato 3-hidratado, su utilización es para usos de laboratorios, análisis, investigación y química fina.

Es uno de las sustancias, junto con el fosfato de plomo considerado como el más peligroso para la salud del hombre y de los animales, existe riesgos adversos durante el embarazo para el feto, peligro de

efectos acumulativos. También efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar efectos negativos en el medio ambiente acuático. Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.

Sus propiedades físicas y químicas del acetato de plomo son: Aspecto: Sólido blanco; olor débilmente acético; pH: 5.5,- 6,5. ; Punto de fusión: 71°C, Densidad: (20/4):2,55 Solubilidad: 410g/l en agua a 20°C. (ATSDR- 2005).

Se utiliza en la manufactura de barnices, pigmentos de cromo, tintes para el cabello, pinturas antioxidantes y como reactivo analítico. Se fabrica por medio de la disolución del monóxido de plomo en ácido acético concentrado. Comercialmente se encuentra como acetato de plomo trihidratado (Cámara de Minería de México, et al., 2006).

### 3.1.12.- BASES TEÓRICAS

La contaminación de hábitat con metales pesados se ha convertido en un problema mundial, por lo que existe la necesidad de sistemas rápidos y accesibles que puedan predecir las concentraciones de estos elementos en el suelo y sobre esta base fomentar el uso de técnicas para la restauración de sitios contaminados y especial atención se debe de prestar a la Biorremediación y, entre ellos la Fitorremediación (utilización de plantas) como una novedosa tecnología para la estabilización y remediación de la contaminación por metales pesados en los ecosistemas.

**A) Biorremediación.-** Los avances tecnológicos para sanear ambientes contaminados con metales pesados han conllevado al desarrollo de alternativas que se basan en el empleo de organismos para prevenir o restaurar daños provocados por acciones antropogénicas que alteran la estabilidad de los diferentes ecosistemas. En este sentido resalta la biorremediación, es una tecnología que consiste en el uso de sistemas biológicos naturales o mejorados genéticamente para degradar, transformar o eliminar sustancias peligrosas orgánicas e inorgánicas presentes en los suelos, aguas y aire. Estas tecnologías

permitirían que las concentraciones del contaminante sean no detectables o estén por debajo de los límites establecidos como aceptables por las Agencias de Control del Medio Ambiente. Esto permite la recuperación de los sitios contaminados y la protección del ambiente (Mallick, 2003).

### **B) La fitorremediación.-**

Es considerada en todo el mundo como una tecnología innovadora para el tratamiento de residuos tóxicos- sólidos o líquidos que permite recuperar suelos y aguas contaminadas, los estudios con que se disponen coinciden en señalar que se trata de una técnica limpia, simple, efectiva y de menor costo en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, tales como el reemplazo de los suelos , la solidificación , el lavado o la incineración , estos han sido asociados con altos índices de contaminación atmosférica, y, por otra parte , requieren de altos costos de mantenimiento. La fitorremediación es una alternativa que permite la remoción de los metales pesados del suelo la cual es una técnica basada en el aprovechamiento de la capacidad de ciertas plantas y los microorganismos asociados a sus raíces para acumular y /o estabilizar este tipo de contaminantes La fitorremediación presenta ventajas sobre los métodos tradicionales ya que permite la eliminación selectiva de los contaminantes y su recuperación para futuros usos. (Chaney et, al. 1997).

### **C) Fitoestabilización.**

Se basa en el uso de plantas tolerantes a metales para inmovilizarlos a través de su absorción y acumulación en las raíces o precipitación en la rizósfera, disminuyendo su movilidad y biodisponibilidad para otras plantas o microorganismos en suelos donde la gran cantidad de contaminantes imposibilita la Fito extracción. La biodegradación y rizo degradación se refieren a la degradación de contaminantes orgánicos a través de las enzimas de las plantas, sus productos o por la acción de microorganismos rizosféricos.(Robinson et al., 2006; Jing, He y Yang, 2007).



#### **D) La fitovolatilización**

Implica la extracción de metales volátiles del suelo como Hg, para su posterior volatilización hacia la atmosfera mediante la evapotranspiración a través del follaje de las plantas . En este mecanismo una vez que el contaminante entra en la planta es liberado hacia la atmosfera a través de los estomas . No obstante la fitovolatilización es un mecanismo que implica una serie de limitaciones , ya que existe la posibilidad de que los compuestos volatilizados en su forma original o como complejos organometalicos , puedan permanecer intactos en el aire y después de un período regresar al suelo sin solucionar el problema.(Kramer, 2005).

Quizas este último sea el factor más importante que representa el uso de la fitorremediación. La velocidad de extracción , estabilización y/o fitovolatilización de los metales es proporcional al crecimiento de la planta , además de que aun no se ha descubierto una planta que cumpla con los criterios ideales de una planta hiperacumuladora eficaz. Para superar tal problemática y que la aplicación de la fitorremediación resulte eficiente , es necesario comprender los procesos biológicos que intervienen (Khan et.al., 2000).

#### **E) Fito extracción**

La fito extracción es el mecanismo por el cual las plantas son capaces de acumular y concentrar metales potenciales tóxicos en sus partes aéreas con el fin de eliminarlos del sitio contaminado por medio de prácticas agrícolas tradicionales.

En los últimos años se ha encontrado que ciertas plantas conocidas como hiper acumuladoras crecen y se desarrollan en suelos contaminados con iones metálicos. Estas plantas son capaces de acumular concentrar y tolerar altas concentraciones de metales pesados presentes en los suelos, sin embargo su capacidad de acumulación puede verse limitada debido a que muchas de ellas tienden a ser específicas para el contaminante sobre el que actúan ( Khasn et al

2000). De forma general las plantas híper acumuladoras deben tener ciertas características para cumplir con su función de acumular metales pesados en sus partes aéreas. En general una planta fito remediadora debe presentar crecimiento rápido una alta producción de biomasa raíces profundas así como capacidad para cumular y tolerar varios tipos de metales pesados . Entre las características más importantes que una planta híper acumuladora debe reunir se encuentran : 1). Capacidad para tolerar altas concentraciones de metales en sus células; 2). Alta capacidad de translocación de contaminantes desde las raíces a la parte aérea; 3.) rápida tasa de captación de los elementos contaminantes (Chaney et al 1997). Es importante señalar que la transferencia de un metal tóxico del suelo al tallo de las plantas terrestres superiores es típicamente baja si se compara con la translocación de macronutrientes(Adriano, 1986).

### **3.1.13.- Ventajas y limitaciones de la fitorremediación**

Aunque no es una tecnología totalmente nueva ya que fue inicialmente propuesta en los años 80 la fitorremediación ha ganado gran aceptación en los últimos años como una alternativa ecológica de bajo costo y muy interesante para la remediación de suelos (Chaney et al 1997; Khan et al 2000). En comparación con los métodos fisicoquímicos tradicionales para la remediación de los suelos contaminados con metales como el lavado , la remoción y transporte y entierro , la fitorremediación representa una tecnología de aplicación mucho ,as barata que podría ser utilizada para solventar de alguna forma las necesidades de remediación actuales (EPA 2000).

Además de ser una tecnología de bajo costo otra ventaja del uso de la fitorremediación es su impacto regenerativo en aquellos lugares donde se aplica ( a través de la restauración del paisaje) ya que la capacidad de extracción de la plantas puede mantenerse activa durante muchos años debido a que depende en gran parte del crecimiento vegetal en el sitio. Por sus características es una tecnología que ha ido evolucionando en los últimos años y actualmente existen muchos estudios que buscan mejorar los mecanismos de fitorremediación por plantas híper

acumuladoras a través de modificaciones genéticas que aumentan la capacidad de acumulación de los metales en el tejido vegetal aéreo (Pawlowska et al 2000; De Olivera, 1999 ; Salt et al, 1998 . Kumar et al , 1995 ; Baker et al, 1994 ) asimismo la validez del uso de esta tecnología ha quedado demostrado a través de diversos estudios lo que ha generado que muchos países estén emprendiendo acciones que promueven el financiamiento de proyectos que impliquen la remediación de los suelos a través del uso de esta tecnología (Chaney, 1997).

Quizas este último sea el factor más importante que representa el uso de la fitorremediación. La velocidad de extracción , extabilización y/o fitovolatilización de losmetales es proporcional al crecimiento de la planta además de que aun no se ha descubierto una planta que cumpla con los criterios ideales de una planta hiperacumuladora eficaz. Para superar tal problemática y que la aplicación de la fitorremediación resulte eficiente , es necesario comprender los procesos biológicos que intervienen (Khan et.al., 2000).

### **Ventajas**

- El costo de la fitorremediación es mucho menor que el de los procedimientos tradicionales in situ y ex situ.
- Son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles, o con niveles de contaminación relativamente bajos.
- Al formar una cobertura vegetal mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.
- La diseminación de contaminantes a través del aire o agua.
- Las plantas pueden ser fácilmente objeto de seguimiento



- Recuperación y reutilización de metales valiosos, biomasa y agua (las empresas que se especializan en la fitominería)
- No requiere personal especializado para su manejo, debido a que se utilizan prácticas agronómicas convencionales
- No requiere energía eléctrica
- Evita la excavación y tráfico pesado
- Es el método menos destructivo, ya que utiliza los organismos naturales y preserva el estado natural del medio ambiente (en comparación con el uso de procesos químicos, no hay ningún impacto negativo en la fertilidad de la tierra)

**Los limitantes:**

- La fitorremediación se limita a la superficie y a la profundidad ocupada por las raíces (tenemos en cuenta que muchos contaminantes basados en los metales también se mantienen en la capa superior del suelo);
- Un crecimiento lento y baja biomasa requieren una inversión considerable en tiempo, o/y, a veces la adición de agentes quelantes u otras sustancias (para los contaminantes inorgánicos como los metales pesados). Puede ser usado con plantas de crecimiento rápido que muestran una amplia gama de elección para la mayoría de los contaminantes de todo tipo.
- No se puede, con un sistema de remediación a base de plantas, evitar completamente el paso de contaminantes a la capa freática (esto solo es posible mediante la eliminación total del suelo).

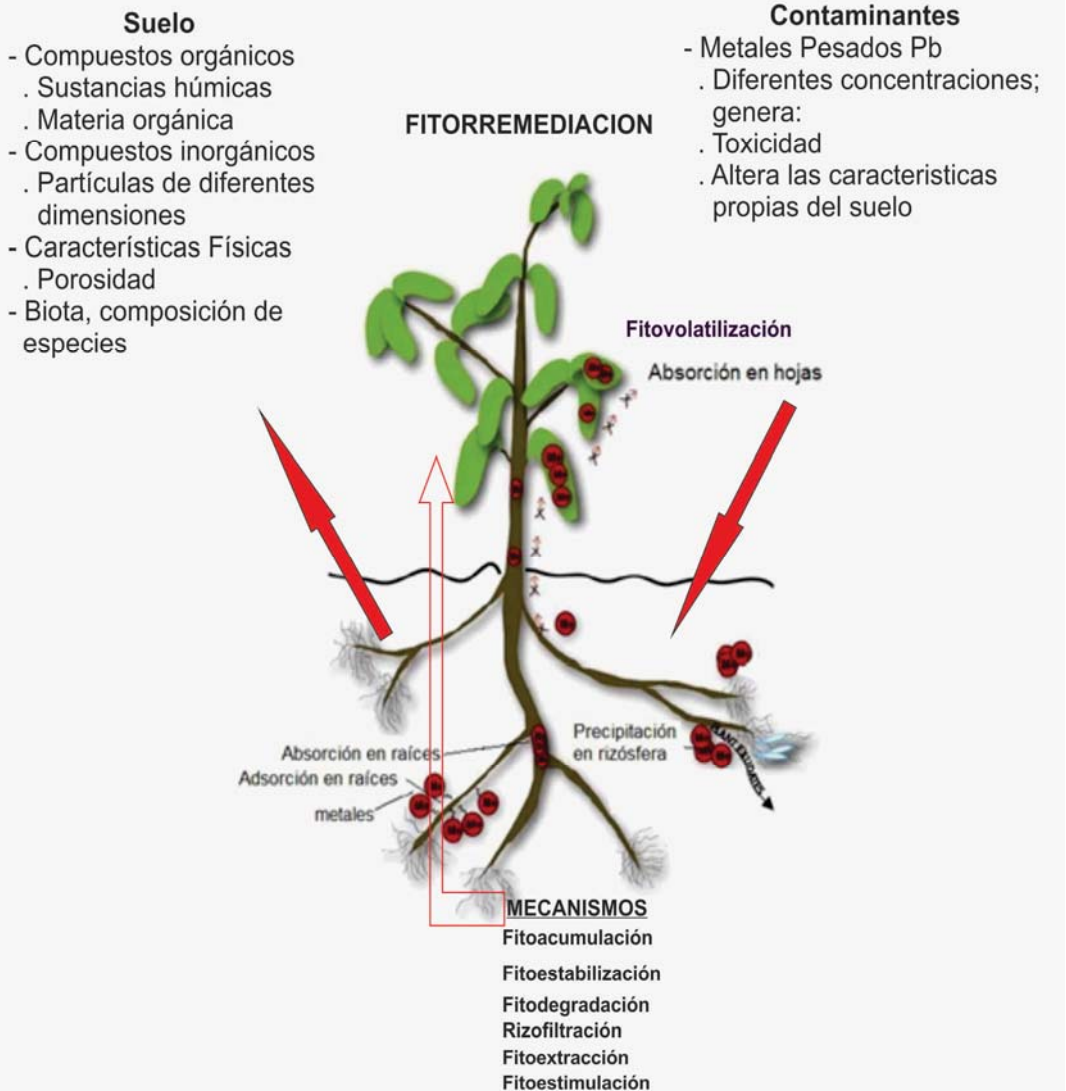
- El nivel y el tipo de contaminación afecta a la fitotoxicidad de los contaminantes. En algunos casos, el crecimiento o la supervivencia de las plantas pueden estar disminuidos

Posible bioacumulación de contaminantes a través de la cadena alimentaria, desde el nivel de los consumidores primarios a los secundarios.



### 3.1.14.- Mecanismos de Fitorremediación

## MECANISMOS DE LA FITORREMEDIACION



Modelo Conceptual de Interacciones de Suelo, Planta Contaminantes(mecanismos) (modificado de Crowley et al 1997)

### PLANTAS HIPERACUMULADORAS DE METALES PESADOS

Todas las plantas poseen un potencial para absorber una amplia variedad de metales del suelo pero la mayor parte de las plantas tienden solamente a absorber los que son esenciales para su supervivencia y desarrollo. Existe una notable excepción de esta regla de un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar altos niveles



de ciertos metales, estas plantas reciben el nombre de hiperacumuladoras (Chaney *et al.*, 2000).

Las plantas denominadas fitorremediadoras, poseen como atributo ideales la capacidad para acumular el (los) metal(es) de interés, preferiblemente en la parte superior de la planta, son tolerantes a la concentración del metal acumulado; crecen rápido, generan elevada producción de biomasa, resultan fácilmente cosechables y muchas de ellas contienen sustancias que impide que los herbívoros las consuman, para prevenir la transferencia de metales pesados a las cadenas tróficas. ( Garbysu y Alkorta 1997)

Una definición propone que si una planta contiene más de 0.1% de Ni, Co, Cu, Cr y Pb ó 1% del Zn, en sus hojas sobre una base del peso seco, ésta puede ser llamada una “híper acumuladora”, independientemente de la concentración del metal en el suelo (Robinson *et al.*, 2003).

Las primeras plantas híper acumuladoras caracterizadas son miembros de las familias *Brassicaceae* y *Fabaceae*. El gran interés despertado por las plantas híper acumuladoras, especialmente para destoxificar un ambiente contaminado, obliga también a resolver otros problemas relativos a otras disciplinas, hace hincapié en ello y destaca que, cuando se intensifique la investigación conjunta de diversos campos como botánica, fisiología vegetal, agronomía, química y genética, probablemente se inicie un brillante futuro para la fitorremediación. El entorno de las plantas híper acumuladoras revela la necesidad de impulsar mayores conocimientos multidisciplinarios que aumenten la rentabilidad y eficacia de dichas plantas: sus aplicaciones son interesantes en muchas áreas, y particularmente importantes en la protección del ambiente.

Se consideran acumuladoras de Pb, Ni,Co y Cu a las especies vegetales que concentran más de 1000 mg de Pb por Kg de materia seca; otras características de una planta remediadora ideal incluyen el

desarrollo de abundante biomasa y capacidad evidente de tolerar y acumular los contaminantes de interés (Robinson *et al.*, 2003).

Otros metales como Zn, Mg, Cu son requeridos por las plantas en, al menos pequeñas cantidades. No obstante cuando la concentración de estos metales en las plantas sobre pasa un determinado umbral, resultan tóxicos. Sólo determinadas especies pueden acumular metales en alta concentración Actualmente se conocen plantas hiperacumuladoras de Zinc, cobre, selenio, níquel y cobalto (Vásquez, 2003) (cuadro N° 02)

**Cuadro N° 02 Contenido de metales pesados en plantas hiperacumuladoras**

Elemento	Especie	Concentración	
		(mg Kg 1 peso)	(tn/ha. Año 1)
Cd	<i>Thalspi caerulescens</i>	3,000	4
Co	<i>Haumani astrumsp</i>	10,200	4
Cu	<i>H. katangense</i>	8,300	5
Pb	<i>Thalspi rotundifolium</i>	8,200	4
Mn	<i>Macadamia neurophyla</i>	55,000	30
Ni	<i>Alussum bertolonii</i>	13,400	9
Ni	<i>Berkheya codii</i>	17,000	18
Se	<i>Astragalus pattersoni</i>	6,000	5
Ta	<i>Iberis intermedia</i>	3,070	8
Zn	<i>Thalspi calaminare</i>	10,000	4

**Fuente: Vasquez,2003**

Dentro de este grupo de plantas hiperacumuladoras destacan también plantas que son capaces de acumular más de cuatro metales y a niveles extraordinariamente elevados como el Pb, Ni, Hg, Cr, Cd, Sr, Zn U. Se han

reportado más de 400 especies diferentes de plantas consideradas hiperacumuladoras (Chaney y Col 2000, Lasat, 2002, Raskin y Col 1997) Ver el cuadro N° 3.

**Cuadro N° 3 Plantas capaces de acumular más de cuatro metales**

Nombre Científico	Nombre Común	Número de elementos	Elementos
<b>Plantas Acuáticas</b>			
<i>Azolla filiculoides</i>	Helecho acuático	4	Cu, Ni, Mn, Pb
<i>Bacopa monnieri</i>	Bacopa	5	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb
<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	6	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn
<i>Hydrilla verticillata</i>	Maleza acuática	4	Cd, Cr, Hg, Pb
<i>Lemna minor</i>	Lenteja de agua	4	CD, Cu, Pb, Zn
<i>Salvinia molesta</i>	Salvinia	4	Cr, Ni, Pb, Zn
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	Flores de agua	5	Cd, Cr, Ni, Pb, Zn
<i>Vallisneria americana</i>	Valisneria lisa	4	Cd, Cr, Cu, Pb
<b>Plantas de Ornato</b>			
<i>Brassica juncea</i>	Mostaza	7	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, U, Zn
<i>Helianthus annuus</i>	Girasol	4	Cs, Pb, Sr, U
<b>Plantas terrestres</b>			
<i>Agrostis castellana</i>	Vallico	5	Al, As, Mn, Pb, Zn
<i>Thalspi caerulencens</i>	Carrasquipe	7	Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
<i>Athyrium yokoscense</i>	Helecho	4	Cd, Cu, Pb, Zn

Fuente: ( adaptado de McIntyre, 2003)



### 3.1.14.1. Especie botánica como fitorremediadora.-

*Amaranthus spinosus*

#### **Taxonomía**

- Reino: Plantae.
  - División: Magnoliophyta
    - Clase: Magnoliopsida
      - Orden: Caryophyllales
        - Familia: Amaranthaceae
          - Género: *Amaranthus*
            - Especie: *Amaranthus spinosus*

Es una especie conocida como, bledo espinoso, ojo de pescado, pira brava, huisquilete con espinas, amaranto Prickly o amaranto Thorny (*Amaranthus spinosus*) y, en nuestro medio es conocido como jatacco silvestre, mula jatacco, opa jatacco.

- Es una planta herbácea que llega a medir de 0.90 a 1.00 m. de altura, crece en zonas con temperaturas entre 11.4°C a 25 °C. se encuentran en climas tropicales y sub tropicales.
- La flores son de color verdoso a crema , poco vistosas se puede observar que el cáliz presenta 9 sépalos , es de color verde claro, la corola con pétalos de color crema , los estambres son blancos y las anteras son amarillentas, las semillas son brillantes de colorcafé oscuro, mediante las cuales se propaga fácilmente.
- Las hojas son simples y alternas de forma lanceoladas, pueden llegar a medir de 8 a 32 cm.
- El pecíolo es acanalado por el haz y largo (hasta 14 cm).
- La inflorescencia es Terminal (en la puntas de las ramitas), y axilar saliendo de las axilas de las hojas.
- El tallo es de color verde ligeramente rojizo y tienen espinas largas muy características.
- La raíz es fasciculada, que tiende a enraizar más medida que se realizan los cortes.(Mosyakin, S.L.et. al 1996).



*Amaranthus spinosus*

### 3.2.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

#### **INTERNACIONAL**

Los principales yacimientos de plomo están en Australia, Canadá, Estados Unidos, y Unión Soviética. La producción mundial minera es de aproximadamente 3.300.000 ton/año; en América Latina se produce el 14% de este total, siendo los más importantes productores Perú (212.600 ton/año) y México (184.261 ton/año) (Corey 1989).

La tendencia al incremento en la producción y el consumo de plomo en América Latina ha aumentado el riesgo de exposición y de daños en la salud de la población. (ATSDR 2005).

**Baudran, Yann . (2002) Contaminación del Suelo . Boletín de información N° 132005 RSST ( Red de Seguridad y Salud en el trabajo ) España .**

En trabajos realizados sobre la contaminación del suelo, indica que la salud del suelo se debe a una serie de atributos físicos,



químicos y biológicos, como el contenido de nutrientes, la capacidad amortiguadora, la capacidad de destrucción de patógenos, la inactivación de compuestos tóxicos. Sin embargo al llevar a cabo un aumento y en ocasiones un mal uso del suelo conduce a un proceso de contaminación y , es muy probable que termine en una fase de mal funcionamiento y degradación .

**Hernandez V; Mager D. (2003) .-** Uso de *Panicum maximun* y *Brachiaria brizantha* Como Fitorremediador de Suelos Contaminados con Crudo de Petroleo Liviano- Guarico- Venezuela

Como una contribución a la capacidad de remediar los suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano, utilizaron dos gramíneas tropicales *Panicum maximun cv* y *Brachiaria brizantha*. La selección de estas especies se basó en : su rápida germinación y crecimiento, baja relación vástago /raíz y un sistema radicular fasciculado que favorece la creación de una rizosfera extendida con potencial para catalizar la descontaminación del suelo,

Contaminando los suelos con HCP liviano a una concentración del 3% el cual produjo un fuerte impacto en la producción de biomasa radical y foliar de las plántulas de *P.maximun* y *B brizantha* Sin embargo, a los 240 días, estas gramíneas lograron una reducción de la contaminación respecto a los suelos carentes de vegetación. Esto ha demostrado la capacidad de *P. maximun* y *B. brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con HCP livianos, ( menor o igual al 3% ), concluyendo que estas especies pueden procurar una recuperación efectiva, pasiva y estéticamente agradable de los suelos.

**Maqueda G. ( 2010) Fitorremediación de Suelos Contaminados con Metales Pesados. Puebla-Mexico.**

Cultivó plántulas de *Beta vulgaris* (acelga) , *Phaseolus vulgaris L.* (frijol) y *Petroselinum crispum* (perejil) en laboratorio. Aplicando cuatro tratamientos: T1 (50 mg Pb/kg de vermiculita y 2 mg Cd/kg de vermiculita), T2 (75 mg Pb/ kg de vermiculita y 2 mg Cd/kg de Overmiculita), T3 (150 mg Pb/kg de vermiculita y 2 mg Cd/kg de



vermiculita) y suelo contaminado, SC (208.19 mg Pb/kg y 10.04 mg Cd/kg., Las plántulas de acelga y de frijol se desarrollaron sin daños físico visibles al aplicar los tratamientos T1, T2 y T3. En tanto que, bajo las mismas condiciones las plántulas de perejil resultaron muy afectadas considerando por ello, que el perejil no tendría uso potencial en los procesos de fitorremediación de suelos contaminados con plomo y cadmio. Y las plántulas de acelga (26 días de análisis) almacenaron más plomo y cadmio que las plántulas de frijol (6 días de análisis); pero ambas especies, a su vez, almacenaron plomo como cadmio en sus raíces, mas que en la parte aérea.

**De Andra, Beck. (2002). Una Nueva Cosecha : Plantando Semillas Para la Enmienda de los Suelos . USDA . EEUU.**

En el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos han realizando el proyecto de plantas hiperacumuladoras de metales pesados que absorben grandes cantidades de metal del suelo, encontrándose una especie de planta conocida como Carrasquie alpino ( *Thlaspi caerulescens*) que acumula hasta 30,000ppm de zinc y hasta 6,000ppm. de cadmio en sus hojas sin reducir el rendimiento de la planta.

**San Gabriel W; Ferrera R; Trejo D. (2006) Fitorremediación de un Suelo con Combusteolo Utilizando *Phaseolus coccineus* y Fertilización Orgánica e Inorgánica – Veracruz- Mexico**

Evaluarón la tolerancia y el crecimiento de tres especies de leguminosas (*Clitoria ternatea*, *Phaseolus coccineus*, *Cicer arietinum*) y tres gramineas ( *Brachiaria hibrido*, *Brachiaria brizanta*, y *Panicum maximum*) en suelos contaminado con combustóleo . Así como su capacidad de reducir el contenido de hidrocarburos provenientes del mismo .Sembraron semillas en suelos no contaminados y en suelos recolectados de la comunidad de Frijol Colorado Veracruz, que fue contaminado por un derrame accidental de combustóleo(50,000mg/ kg<sup>-1</sup> ) , a los 90 días evaluarón la tolerancia, del crecimiento, la población de

la rizósfera y la degradación del combustible, *Phaseolus coccineus* fue la única leguminosa con tolerancia y crecimiento en suelo contaminado, mientras que las tres gramíneas no fueron afectadas por la presencia del contaminante, y el híbrido de *Brachiaria* mostró mayor crecimiento. La población rizosférica de bacterias y hongos fue diferencialmente afectada por la presencia del contaminante en combinación con la planta, la rizosfera del *P.coccineus* presentó mayor población microbiana a diferencia de las plantas restantes. Así mismo obtuvieron resultados de la degradación del combustible cualitativamente, por GC-MS donde la rizósfera de *B.brizantha* y *P. maximum* fue mayor, en contraste a *P.coccineus* presentó una degradación similar a un suelo contaminado sin planta.

**Pérez, M. J. Comportamiento de la Planta *Nicotiana tabacum* L. variedad “ Criollo 98” en un Suelo Contaminado con Cadmio y Plomo Tesis doctoral – Pinar del Río –México-2006.**

Los investigadores del Instituto Politécnico de Agronomía “Tranquilino Sandalio de Noda”, provincia de Pinar del Río, Cuba. realizaron la investigación sobre fitorremediación con *Nicotiana tabacum*. El área experimental ocupó 114 m<sup>2</sup>, en la cual plantaron la variedad criollo 98.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Tratamientos: T1, Testigo; T2, dos aplicaciones de Cd al suelo (0,50 kg/ha); T3, dos aplicaciones de Pb al suelo (0,50 kg/ha); T4 dos aplicaciones de Cd+Pb al suelo (0,50 kg/ha de cada elemento). Concluyendo:

que los metales pesados Cadmio y Plomo son rápidamente absorbidos por la planta de tabaco, acumulada fundamentalmente en la raíz y en las hojas basales.

La presencia de Cadmio y Plomo incide positivamente en la asimilación y acumulación de ambos elementos sugiriendo un mecanismo de sinergismo entre estos elementos.

El análisis post-cosecha de las parcelas demostró que la variedad “Criollo 98” es capaz de extraer la mayor parte del cadmio y del Plomo aplicado durante el experimento.

La especie *Nicotiana tabacum L.*, Variedad “Criollo 98” tiene buenas cualidades y características fitorremediadoras que permiten su uso en este tipo de experimentos .

**Castillo,P.R.;Sanchez,S.E. y Ortiz,H.M. Fitoextracción de Pb,Cr,Zn en suelos , Mediante el Uso de Geranios (*Pelargonium sp*) Mexico 2004**

El grupo de investigadores del Centro en Biotecnología de la Universidad de Morelos consideran que la actividad industrial y minera aportan gran cantidad de metales pesados , generando problemas tanto en el campo ambiental como en la salud pública , por lo que se plantean como objetivo evaluar la eficiencia de fitoextracción de Pb,Cr,Zn utilizando tres especies de *Pelargonium* , como estrategia de restauración de suelos contaminados. El experimento se llevo a cabo bajo condiciones de invernadero, utilizando ejemplares de *Pelargonium sp.*, *P.citrella*,*P.denticulatum* y uncontrol positivo de *Helianthus annuus*, las que fueron colocadas en macetas con 2 kg. de tierra de monte y hojarasca como sustrato , contaminadas con 1000 y 2500 ppm. de Pb, Cr, zn y una mezcla de ellos , previamente realizaron los análisis fisico químico de los suelos al inicio y final del experimento . Concluido el experimento cuantificarón los metales en su forma total el plomo en suelo y planta mediante espectrofotometria de absorción atómica, teniendo como resultado que todos los suelos se mantuvieron en condiciones nutricionales optimas. Obteniendo que *Pelargonium sp.* presentó una mayor capacidad de fitoextracción de Pb, Cr y Zn en raíces y en un segundo lugar *Pelargonium citronella* , en cambio *Pelargonium annuus* mostró un comportamiento similar con *Pelargonium denticulatum*



en todos los casos ninguna de las especies presentan síntomas de daños morfológicos , lo que demuestra que toleran los metales presentes en el suelo, en conclusión las diferentes especies de *Pelargonium* probadas en el experimento bajo condiciones de estrés metálico pueden ser utilizadas en procesos de restauración de suelos.

**Infanti, C. (1999) . Biorremediación de Derrames de Hidrocarburos en Ambientes Naturales – Venezuela .**

El documento indica que diversos contaminantes presentes en el suelo producto de la utilización indiscriminada de pesticidas, herbicidas, petróleo y sus derivados, metales pesados entre otros pueden ser eliminados por biorremediación, lo cual demuestra la validez de esta técnica para proteger el medio ambiente y reducir el usos de sustancias tóxicas -

Indican que La fitorremediación o fitocorrección permiten recuperar de una forma ambiental y totalmente segura , suelos contaminados por derrames de crudo áreas de disposición temporal de desechos orgánicos así como realizar un tratamiento continuo de desechos impregnados con hidrocarburos , generados durante la etapa de perforación.

**M.Cusato; R.D.Tortosa. (2002). Fitorremediación – Empleo de *Discaria americana*- Buenos aires – Argentina**

Según los investigadores los miembros de las familias Brassicaceae (género *Alyssum* y *Thlaspi*) y Fabaceas fueron los primeros señalados como hiperacumuladores . El género *Thlaspi*, contiene especies que hiperacumulan Zn, Ni ,Cd, Pb, la especie *Thlaspi caerulescens*, que crece en suelos de calamina y serpentinas, cuya distribución es Gran Bretaña y Bélgica está estrechamente vinculada con las minas de Zn y Pb.

Así mismo probaron con una planta nativa de Argentina *Discaria americana*, que podría ser empleada con éxito en el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados, aplicando el proceso de

fitorremediación. La *Discaria americana*, al ser tratada en macetas bajo condiciones de invernadero, determinaron que tiene la capacidad de acumular Zn con destrucción de tejidos y, cuando los cultivos se efectuaron en hidroponía con concentraciones de 40 a 100 g Zn g<sup>-1</sup>, cosa que no ocurrió cuando las plantas fueron cultivadas en el suelo directamente.

Experimentaron con *Amaranthus retroflexus*, especie que ha mostrado ser 40 veces más eficiente que sus competidoras en absorber el amenazador cesio-137 radiactivo, que es uno de los más peligrosos contaminantes de las centrales nucleares, Amaranthus resulta siendo muy prometedora y lo consideran como una especie hiper acumuladora de plomo, siendo este un contaminante que se encuentra mucho en suelos y que resulta muy difícil de ser absorbido.

**Sanchez P. (2010). Contaminación por Metales Pesados en el Botadero de Basura de Moravia en Medellin: Transferencia a Flora y Fauna del Potencial Fitorremediador de especies nativas e Introducidas – Bogota - Colombia.**

La información generada por la investigadora Sánchez, tuvo como objetivo: Determinar la concentración actual de los metales pesados Hg, Pb, Cr, Cd y Ni en las capas superficiales de la matriz de residuos; así como la biodisponibilidad actual de estos metales y su transferencia a la flora que actualmente revegeta el cerro de Moravia y, las diferencias en absorción de metales pesados, e identificar las especies que colonizan estos espacios.

Al momento del muestreo, la transferencia de metales a la flora, seguía el patrón de absorción Cr, Pb, Hg, Cd y Ni. Sin embargo, este orden puede cambiar tanto espacial como temporalmente, ya que la matriz de residuos demostró una alta heterogeneidad en relación con el contenido de metales pesados.

La transferencia de metales permite concluir que los habitantes del cerro de Moravia (flora, fauna y población humana), se encuentran expuestos a la ingestión y/o contacto de material contaminado. Es por

tanto necesario, monitorear y dirigir el proceso de revegetación del cerro, con el fin de disminuir dichas rutas de exposición.

Las especies encontradas caso : *B. pilosa*, *L. virginicum*, *U. maxima* y *E. coccinea*, se presentan como especies promisorias por sus características de crecimiento y de absorción de metales pesados en los espacios del botadero , por lo que deben evaluarse en condiciones semi controladas.

### **Rodriguez O. et.al. (2006) Capacidad de seis especies Vegetales para acumular Plomo en Suelos Contaminados – México.**

Evaluaron seis especies de plantas: *Cenchrus ciliaris*, *Helianthus annuus*, *ricinus communis*, *Nicotiana tabacum*, *Brassica campestris* y *Sorghumsudanense*. Teniendo como objetivo Evaluar su capacidad de acumulación de plomo, el experimento lo realizaron bajo condiciones de invernadero en macetas con una capacidad de 10 kg de suelo . Las especies fueron sometidas a diferentes concentraciones de plomo, 0(testigo),500mgdePb/kg. y, 1000 mg. de Pb/kg de suelo.Concluido el experimento obtubieron los resultados : *N.tabacum* con el tratamiento de 500mg.de Pb/kg de suelo acumuló 3.27 y 3.08 mg de Pb en materia seca total y en la parte aérea, respectivamente;*R.communis* y *C. Ciliaris* solo acumularon 2.78 y 2.22 mgde Pb respectivamente y, con 1000 mg de Pb/ kg de suelo , *R communis* acumuló 6.8 mg de Pb , mientras que *S.sudanense*acumuló 2.8 veces menos (2.44 mg Pb) .En general las especies presentaron una tendencia a acumular más plomo a medida que se incrementó la dosis de este elemento en el suelo , sin embargo *N.tabacum* y *B. campestris* no toleraron la dosis de 1000 mg de Pb /kg de suelo y murieron.



**Bernal M.P.,et.al. (2007). Aplicación de la Fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcollar-España.**

Utilizando las parcelas de experimentación diseñadas por la junta de Andalucía en la zona denominada El Vicario al sur de Aznacóllar-España , se desarrolló el proyecto de fitorremediación basado en el uso de enmiendas orgánicas y de plantas para recuperar la zona . En una primera fase utilizarón enmiendas del suelo (cal y materia orgánica), y especies de plantas tolerantes a metales pesados que mostraban acumulación de éstos. Y una segunda fase de Atenuación Natural, dejaron los suelos evolucionar sin intervención alguna permitiendo la vegetación espontánea.. observándose acumulación de metales en *Brassica juncea*, las concentraciones más elevadas de Zn y Cu se obtubieron en las plantas de las parcelas más ácidas , en la que los metales se encontraban más fácilmente disponibles , pero por otro lado , dieron lugar a un menor rendimiento de la planta . En general la acumulación fue más elevada en el primer cultivo( parcela con *B.juncea*, con pH mayor a 5) que en el segundo (*B.juncea* con pH menor a 4.5 ), reflejando la mayor disponibilidad de metales en el suelo . No se observó una tendencia concreta en la acumulación de Pb en *B.juncea*, y las concentraciones de Cd estuvieron por debajo del límite de detección, aunque en algunas raíces de las plantas crecidas en parcelas sin enmienda orgánica se encontraron concentraciones de 5mg. por g-1 . Las concentraciones de Zn y Pb en la mayoría de las partes de las plantas analizadas excedieron los niveles encontrados en plantas de *B.juncea*, crecidas en suelos no contaminados de una localidad del área del rio Guadiamar.

**Becerril J.M. et.al. (2007) . Estudio de especies nativas de suelos mineros contaminados conPb, Zn y Cd en el norte de España: Selección, Tolerancia y Aplicación Potencial . España**

La investigación la realizarón en las escombreras de las minas abandonadas de Pb y Zn en la región de Las Encartaciones en

Bizkaia (Norte de España). Procedieron con el inventario florístico del entorno, identificando 50 especies que pertenecen a 29 géneros y a 18 familias disminuyendo la abundancia y la cobertura con el nivel del metal en el suelo. Así mismo identificaron especies pseudometalofitas con niveles muy bajos en sus tejidos aéreos (*Festuca rubra* L. *Agrostis capillaris* L. *Pteridium aquilinum* L.) y, reportaron especies hipertolerantes en lugares con alta concentración de metales (*Thlaspi caerulescens*, *Jasione montana*, *Rumex acetosa* y, *Festuca rubra*); y con altos niveles de metales en *R. acetosa* y *J. montana* y, como hiperacumuladora de Zinc a *Thlaspi caerulescens* con (14.000 mg/kg. de materia seca).

**Rojas, Loria. C. (2010). Efecto de la Interacción hongo – *Dodonaea viscosa* L. Jacq en la fitorremediación de plomo en un sistema in vitro.**

Realizo estudios sobre el efecto de la interacción entre *Dodonaea viscosa* y un hongo filamentoso sobre la capacidad de la planta para acumular plomo, probó seis cepas fungicas, encontrando que al cabo de 30 días de cultivo, una de las cepas del género *Lewia* favoreció de manera cualitativa y cuantitativamente el crecimiento de *D. viscosa* siendo seleccionada para la fitorremediación del plomo. En una segunda etapa probó la capacidad de esta cepa para tolerar y acumular Pb bajo diferentes concentraciones de una sal soluble de  $(Pb(NO_3)_2)$  y una insoluble (PbS), encontrando una disminución hasta de 39% y aumento hasta del 16% en peso de biomasa del hongo respectivamente. Detectaron que este hongo presentaba una alta capacidad para acumular plomo alcanzando valores de 100mg Pb/g de peso seco para concentraciones de 500 mgPb/L, independientemente de la solubilidad de la fuente de Pb. En resumen *D. viscosa* acumuló más plomo a nivel de raíz encontrándose 5 veces más plomo que en los brotes, lo que indica que *D. viscosa* es una especie con potencial para fitoestabilizar plomo. Este estudio resalta la importancia de las interacciones en la fitorremediación ya que la planta acumuló 3 veces más plomo que sin

el hongo , alcanzando concentraciones mayores a 5000ug Pb/g raíz en peso seco en presencia de  $Pb(NO_3)_2$

#### **NACIONAL .**

#### **Jara P. E., (2011) Especies Andinas Fitorremediadores de Suelos Contaminados con Plomo y Zinc. Perú**

El trabajo tubo como objetivo evaluar el desarrollo de especies vegetales promisorias fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados. Se realizó en condiciones de invernadero en macetas, utilizarón el diseño experimental factorial 5x4 (cinco especies fitorremediadoras y cuatro sustratos; añadiendo mezclas de relaves mineros a razon de 30%, 60% y 90% , y con suelo sin metales (testigo). Fueron evaluados 20 tratamientos. Probarón con: *Solanum excisirhombeun*, *Descurainia miriophylla*, *Cotula australis*, *Marrubium vulgare*, *Mostacellastrum gracile*. Obteniendo como resultados: mayor biomasa para *Marrubium vulgare* con el tratamiento de 30% de relave (RM) (4.6 g de biomasa por planta). hay tendencia de disminución de valores de acumulación de plomo presentó *Solanum excisirhombeun* (821.6mg/ kg<sup>-1</sup> de materia seca) y, tambien como plomo total (874 mg kg<sup>-1</sup> de materia seca) con el tratamiento de 90% de RM. Presentando una tendencia de mayor acumulación de plomo en raíces en *Descurainia miriophylla* , *Cotula australis*, *Marrubium vulgare* y *Mostacillastrum gracile*. Los mayores valores de acumulación de zinc se obtuvieron en hojas de *Cotula australis*(210.6 mg Kg<sup>-1</sup> de materia seca) y también como zinc total (410 mg /kg<sup>-1</sup> de materia seca) con el tratamiento de 90% de RM.

#### **Iannacone O. J., et.al. (2005) Efecto Ecotoxicológico de tres Metales Pesados Sobre el Crecimiento Radicular de Cuatro Plantas Vasculares .Lima- Peru**

La investigación que realizarón fue teniendo como objetivo evaluar el efecto fitotoxico del  $Cr^{6+}$   $Hg^{2+}$  y  $Pb^{2+}$  en forma de dicromato de potasio



(K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), cloruro de mercurio (Cl<sub>2</sub>Hg) y acetato de plomo Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, sobre el crecimiento radicular. Utilizando semillas de 4 especies de plantas superiores: cebolla (*Allium cepa* L., Liliaceae), betarraga (*Beta vulgaris* L., Chenopodiaceae), arroz (*Oriza sativa* L., Poaceae) y rabanito (*Raphanus sativus* L., Brassicaceae) sometidas a diferentes concentraciones de metales, después de 192 h (8 días) de exposición. De acuerdo a lo obtenido en la presente investigación, ninguna de las cuatro especies vegetales: cebolla, betarraga, arroz y rabanito, demostró sensibilidad a los tres metales pesados ensayados. Para el Cr<sup>+6</sup> obtuvieron el siguiente orden decreciente de ecotoxicidad: O. sativa > B. vulgaris > A. cepa > R. sativus. Para el Hg<sup>+2</sup>: B. vulgaris > A. cepa > R. sativus > O. sativa. Para el Pb<sup>+2</sup> se observó B. vulgaris > A. cepa > R. sativus > O. sativa. En promedio la sensibilidad de las especies al metal fue de Hg<sup>+2</sup> > Cr<sup>+6</sup> > Pb<sup>+2</sup>. Las semillas de B. vulgaris presenta mayor sensibilidad a la acción de los tres metales. En contraste, las otras tres especies de plantas más tolerantes a los tres metales pesados, como R. sativus y A. cepa y, O. sativa serían especies promisorias para su uso en fitorremediación.

**Rodriguez H.P., (2010) Descontaminación del Suelo de Concepción con altos Contenidos de Plomo y Arsénico Usando Plantas Nativas de la Región. Huancayo- Perú.**

La investigación se planteó teniendo como objetivos: Aplicar la fitorremediación de suelos de Concepción contaminado por la presencia de plomo., Disminuir la concentración de Pb de **85.16 ppm** a una aproximación de LMP (75.00 aprox) igual para el As de 256.6 ppm a un LMP de (50.00 Aprox),. Cuantificar la capacidad de acumulación del plomo por parte de las especies vegetales diente de león, girasol y musgo (plantas ya sembradas en zonas de estudio-Concepción).

Realizado los análisis determinaron que el diente de león, asimila de manera natural el Pb y As. (fitoextracción) y esta planta es comestible y es fuente de hierro y vitamina C. El girasol (comestible), y los musgos tienen la capacidad para la absorción y acumulación de los metales

pesados presentes en el suelo, siendo estas especies comestibles realizarán análisis de plomo en sangre de los niños de Concepción, obteniendo resultados de niveles altos de plomo en el 97 % de niños entre 6 meses y 6 años y 98% de niños entre 7 meses y 12 años, tenían niveles muy elevados de plomo en sangre. El nivel de As en orina es de >50 ug/L en Concepción. En orina estuvieron debajo de 50ug/L para todos los grupos de edad.

#### **A NIVEL REGIONAL**

No se tiene estudios relacionados a fitorremediación de suelos contaminados con plomo

#### **4.- HIPÓTESIS**

Dado que la contaminación de los suelos por efectos del uso indiscriminado de plomo está creciendo en forma acelerada, es probable que el tratamiento de los suelos utilizando la especie *Amaranthus spinosus*, sea altamente efectivo en suelos contaminados con este metal.

#### **5.-OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

De acuerdo al planteamiento del problema objeto de investigación el presente trabajo implica la operacionalización de diversas variables, indicadores, sub indicadores, metodologías, análisis de datos que se detallan a continuación..

## OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADORES	ESCALA Y VALORES
V. Independiente Concentración de Pb	<p>El plomo y los compuestos de plomo son contaminantes tóxicos . Las sales de plomo como el acetato de plomo son dañinos desde el punto de vista toxicológico,</p> <p>El plomo limita la síntesis clorofílica de las plantas .Las plantas pueden absorber del suelo altos niveles de plomo introduciéndose en las cadenas tróficas generando, toxicidad en plantas animales y el hombre.</p>	<p>Tipo de contaminante</p> <p>Concentración del plomo</p>	<p>Elemento Químico.</p> <p>Plomo en :</p> <p>mg/L</p> <p>mg/Kg</p> <p>ppm/ Kg.</p>
V.Dependiente: Absorción de plomo	<p>Es el mecanismo por el cual las plantas absorben acumulan y, concentran los metales potencialmente tóxicos en sus partes como la raíz , tallos y hojas e inflorescencia.</p>	<p>Concentración del contaminante (/plomo) en la planta).</p> <p>Nivel de absorción y acumulación en las diferentes partes de la planta ( Prueba por Espectroscopia de Absorción Atómica )</p>	<p>Limites máximos permisibles. (LMP)</p> <p>Concentración y acumulación máxima</p>



## 5.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	SUB INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Perú a pesar de ser un país que está trabajando en los últimos años muy fuertemente en la conservación de sus recursos (suelo, agua, flora, fauna, aire), presenta muchos suelos contaminados con metales pesados, particularmente con cobre, zinc, plomo, arsénico, debido a las actividades realizadas por la industria, refinerías, procesos de soldadura, agricultura, a través de los fertilizantes, plaguicidas, las industrias de baterías, las pinturas, barnices, aceites, lubricantes y la que genera mayor contaminación la minería en las diferentes zonas del país, acciones estas que no presentan procesos de remediación.</p> <p>Si bien existen estudios sobre fitorremediación con utilización de distintas especies de plantas caso los géneros <i>Tajetes</i>, <i>Helianthus</i>, <i>Arabidopsis</i>, <i>Populus</i>, <i>Thalspi</i>, <i>Amaranthus</i>, <i>Panicum</i>, en muchos otros países como Argentina, México, costa Rica, no se dispone de información sobre el uso para fitorremediación de variedades nativas Peruanas y especialmente para Cusco que sean consideradas como hiper acumuladoras de metales pesados. Esta problemática permite plantar las sgtes interrogantes:</p> <p>¿<i>Amaranthus spinosus</i> será una especie con capacidad remediadora de suelos contaminados con plomo?</p> <p>¿En qué parte de la planta (raíz, hojas y tallos, Inflorescencia) acumulará mayor cantidad del contaminante?</p> <p>¿La capacidad de fitorremediación de <i>Amaranthus spinosus</i> dependerá de la concentración de plomo en los suelos?</p>	<p><b>Objetivos:</b></p> <p>1.- Determinar el nivel de absorción del plomo en la raíz de <i>Amaranthus spinosus</i>.</p> <p>2.- Evaluar el nivel de acumulación de plomo en tallo y hojas de <i>Amaranthus spinosus</i>.</p> <p>3.- Cuantificar el nivel de acumulación de plomo en la inflorescencia de <i>Amaranthus spinosus</i>.</p>	<p>Dado que la contaminación de los suelos por efectos de uso indiscriminado de plomo, está creciendo en forma acelerada, es probable que el tratamiento de los suelos utilizando la especie <u><i>Amaranthus spinosus</i></u>, sea altamente efectivo en el proceso de absorción de suelos contaminados con este metal</p>	<p><b>V. Independiente</b></p> <p>-Concentración de Pb.</p> <p><b>V. Dependiente</b></p> <p>-Absorción del plomo por la especie <i>Amaranthus spinosus</i>.</p> <p>-Cantidad de plomo</p>	<p>Cantidad de absorción</p> <p>Partes fisiológicas de la planta.</p> <p>- 0 concentración</p> <p>- 200 ppm/Kg<sup>-1</sup> de suelo</p> <p>- 400 ppm/Kg<sup>-1</sup> de suelo</p> <p>-600ppm/Kg<sup>1</sup>.de suelo</p>	<p><b>Baremo.</b></p> <p>Cantidad de Pb absorbido en ppm. por la</p> <p>Raíz</p> <p>Tallo y hojas</p> <p>Inflorescencia</p> <p>5 Kg. de suelo</p> <p>5 Kg. de suelo</p> <p>5 Kg. de suelo</p> <p>5 Kg. de suelo</p>	<p><b>Diseño de investigación.</b></p> <p>-Experimental</p> <p>-Cuantitativa</p> <p><b>Muestra.</b></p> <p>-Especie botánica <i>Amaranthus spinosus</i></p> <p>-Suelos contaminados con plomo</p> <p><b>Técnica</b></p> <p>-Análisis de la absorción de plomo en la planta: por Espectroscopia de absorción atómica (AAS)</p> <p><b>Procesamiento de Datos</b></p> <p>-Relación concentración del contaminante Vs , acumulación</p> <p>-Desviación estándar</p> <p><b>Análisis de Varianza y,</b></p> <p><b>Prueba de Tukey.</b></p>

### III.- PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

#### 1.- TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN.

##### 1.1.- TÉCNICA.

Observación experimental.- se realizará bajo condiciones de invernadero

##### Primera etapa.

##### **Características técnicas de los maceteros:**

Dimensiones: 24 cm de diámetro, 19 cm altura

Instalar los maceteros individuales, debidamente distribuidos en número de 48:

**Carga por macetero:** hasta 5 kg. de suelo.

La distribución de los maceteros en el invernadero se realizará en función al diseño estadístico, que es el Diseño completamente Randomizado con arreglo de factoriales 4 x 3. Con cuatro repeticiones. Haciendo un total de 48 maceteros.

Una vez los maceteros listo, más el sustrato (5 kg. de suelo) se añade el contaminante plomo a diferentes concentraciones. 0 ppm (testigo) 200 ppm/kg<sup>-1</sup> de suelo , 400 ppm/kg<sup>-1</sup> de suelo y, 600 ppm/kg<sup>-1</sup> de suelo, homogenizar el suelo mas el contaminante (mezclar).

Control del sustrato – Suelo

-Determinación de las características físicas y químicas del sustrato a utilizarse: textura, materia orgánica, fosforo, Nitrógeno total, potasio, CE., CIC, pH.

##### Segunda Etapa

Planificación de la Experimentación.

- Planta en experimento *Amaranthus spinosus* (jatacco silvestre, mula jatacco, opa jatacco)
- Contaminante plomo , para la implementación del experimento se deberá realizar los cálculos de la cantidad de acetato de plomo tri hidratado

Pb(CH<sub>3</sub> – COO)<sub>2</sub> que se requiere para obtener las concentraciones necesarios de 200, 400 y, 600 ppm.(Cuadro N° 03)

Cálculos:

$$\begin{array}{r} 379.33 \text{ mg (CH}_3\text{ –COO)}_2\text{ Pb} \text{ ----- } 207.2 \text{ mg Pb} \\ X \text{ ----- } 200 \text{ mg Pb} \\ X = 366.023 \text{ mg Pb} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 366.023 \text{ mg / Pb} \text{ ----- } 1000 \text{ mg/Pb} \\ X \text{ ----- } 5000 \text{ g. de suelo} \\ X = 1830 \text{ mg / Pb} \end{array}$$

$$X = 1.830 \text{ g / de (CH}_3\text{ –COO)}_2\text{ Pb}$$

Cuadro N° 03 Acetato de Plomo tri hidratado utilizado para las diferentes concentraciones.

Concentración de Pb (ppm)	( CH <sub>3</sub> –COO) <sub>2</sub> Pb g/ K	( CH <sub>3</sub> –COO) <sub>2</sub> Pb g/ 5 kilos
0	0.0	0.0
<b>200</b>	0.366	1.830
400	0.732	3.661
600	1.098	5.492

Factor A : Absorción en diferentes partes vegetativas de la planta

- A1.- raíz,
- A2.- tallo y hojas
- A3.- Inflorescencia

Factor B : Concentraciones del contaminante (Pb) a partir del Acetato de plomo, (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Pb.3H<sub>2</sub>O



- B1 Concentración 0 (testigo)
- B2 Concentración 200 ppm/kg. de suelo.
- B3 Concentración 400 ppm/kg. de suelo
- B4 Concentración 600 ppm/kg. De suelo

Una vez que se tiene debidamente distribuido los maceteros , se procederá a contaminar con el metal pesado plomo en forma de acetato de plomo, en diferentes concentraciones , luego se regará , con el fin de que el plomo se incorpore al suelo y se dejará descansar durante 20 días ( regando, mezclando el suelos),después del cual se procederá a colocar las plántulas , a partir del cual se iniciarán las observaciones , teniendo cuidado que los factores , abióticos, como la humedad , temperatura y pH, se mantengan en optimas condiciones para el desarrollo de las plántulas .

### **Tercera Etapa.**

Observación de laboratorio: determinación de acumulación del metal por Espectroscopia de Absorción Atómica.

Una vez que las plántulas estén en la etapa de floración , se procederá a realizar la extracción de toda la planta, para luego proceder con los análisis de laboratorio con la utilización del equipo de Espectrometría de Absorción Atómica ( AAS), de la biomasa vegetal de *Amaranthus spinosus*, separando ,(raíz, tallo y hojas; e inflorescencia ),con la finalidad de conocer que parte de la planta acumula más el contaminante.

**Fundamento de la Espectroscopía de Absorción Atómica:** Es una técnica utilizada para la detección y determinación de elementos químicos, particularmente metálicos. El fundamento se basa en la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. ( ROCHA 2000) .

**Procesamiento de las muestras para determinar la capacidad de absorción del metal por *Amaranthus spinosus* .**

Para la determinación de la cantidad de absorción de plomo por la planta estas serán extraídas en forma completa (entera) y posteriormente

separadas en raíz, tallo y hojas e inflorescencia , para ser trasladadas al laboratorio para los respectivos análisis por Espectroscopía de Absorción Atómica,

Siendo que la Espectroscopía de absorción atómica es un método para la detección y determinación de elementos químicos, particularmente de elementos metálicos (Rocha,C.E.2000) . En este caso para la detección del plomo se deberá seguir el siguiente procedimiento:

Extraídas las muestras se procederán a deshidratar, luego pesar 5 gr. De muestra seca , colocar en crisoles y someterlos al horno a 380°C, hasta obtener una ceniza blanco grisáceo, posteriormente disolverlo en ácido nítrico  $H_2NO_3$ + agua en la relación de 1 : 1, y proceder con la digestión húmeda en una estufa a 45°C, añadiendo agua por repetidas veces , proceso que dura aproximadamente 4 horas terminada la digestión las muestras serán filtradas y aforadas a 50 ml. con agua destilada, obteniendo una solución de nitrato de plomo , este extracto que se obtiene se llevará a la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Obtenido las lecturas de transmitancia estas deben de ser transcritas a la concentración de plomo en miligramos por litro ( mg/L de Pb) mediante un patrón conocido.(anexos) .

## 1.2.- INSTRUMENTOS

a) Instrumento documental.- Fichas de recopilación de datos:

- fichas de codificación y especificación de las muestras
- Fichas para el vaciado de resultados de absorción
- Fichas para cálculos de capacidad de absorción
- Ficha para graficar la curva patrón de transmitancia de plomo por Espectroscopía de Absorción Atómica. ( ver anexos)

b) Instrumentos Mecánicos

- Espectrofotómetro de absorción atómica (Marca: - CARL ZEISS.JENA - AAS1N)
- Cámara digital

- pHmetro
- Mufla 0-600°C
- Potenciómetro digital
- Balanza analítica
- Termómetro ambiental 0-50°C

### 1.3. MATERIALES

#### a) Material Biológico:

- Semillas de *Amaranthus spinosus*

#### b) Materiales de Laboratorio:

- Vasos de precipitado
  - Erlenmeyer de 50-100ml
  - Batería de tamices
  - Probetas de 100 ml.
  - Equipo de bioseguridad (guantes y mascarilla)
  - Crisoles de porcelana
  - Mortero
  - Frascos de vidrio herméticos para el traslado de muestras a  
Analiza
  - Matraz - kitasato
  - Embudo buchner
  - Erlenmeyer de 100, 250 ml.
  - Crisoles
  - Frascos de vidrio capacidad de 100, 200ml
  - Picetas
  - Varillas de vidrio
  - regadera
- #### c).Reactivos e Insumos
- Sales de plomo en forma de acetato de plomo  $Pb(CH_3-COO)_2$
  - Ácido nítrico concentrado grado reactivo
  - Agua des ionizada



- Patrón de plomo

## 2.- CAMPO DE VERIFICACIÓN.

### 2.1.- UBICACIÓN ESPACIAL

El experimento se instalará bajo condiciones de invernadero, infraestructura situada en las instalaciones de la facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco, cuyas coordenadas geográficas ,13°31'76”S y, 71°58'41” W y, altitud de 3348 m.s.n.m. .Monitoreando los factores ambientales, como temperaturas promedios, de máximas y mínimas 15°C y 27.5° C y humedad relativa con un aproximado de entre 70 a 75 %, a capacidad de campo,cuenta con disponibilidad del recurso hídrico para el riego.

### 2.2.- UBICACIÓN TEMPORAL

La investigación a realizar es transversal debido a que se quiere saber la cantidad de plomo que puede ser absorbido por la sp. *Amaranthus spinosus* al ser sometido a suelos contaminados con diferentes concentraciones de plomo, las que responderán a las variables planteadas.

Es prospectiva por que los resultados que se obtendrán se deberán a la investigación que se realizará en la etapa de observación experimental (invernadero), donde se tomaran muy en cuenta los factores ambientales y , las características fisiológicas de las plantas en estudio , así como en la etapa de observación en laboratorio ( laboratorio QUÍMICA LAB - CUSCO Y LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA UNSAAC) , donde se procederá con la determinación de la cantidad de absorción de plomo en los diferentes órganos de la planta ,a través de la Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS) resultados obtenidos que permitirán probar la hipótesis y alcanzar los objetivos de la investigación .

Así mismo la investigación está programada para ser realizada en aproximadamente 9 meses (entre los meses de Julio de 2011 a Abril del 2012).

### 2.3.- UNIDADES DE ESTUDIO.

- 48 maceteros con 5 kilos de suelo los que estarán contaminados con diferentes concentraciones de plomo. (200, 400 y , 600 ppm/kg<sup>-1</sup> de suelo
- Plántulas de *Amaranthus spinosus*, transplantadas de un almacigo previamente manejado.  
plomo como contaminante, en forma de acetato de plomo tri hidratado (CH<sub>3</sub>-COO)<sub>2</sub> Pb.3H<sub>2</sub>O.

## 3.- ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

### 3.1.- ORGANIZACIÓN.

Para la realización del proyecto se tubo las siguientes coordinaciones:

- Entrevistas con el docente asesor de la tesis , con la finalidad de determinar el proceso de recolección de datos , metodología etc..
- 1 asistente, alumno del ultimo ciclo para el apoyo en el manejo del experimento en el invernadero ( adiestramiento en la investigación).
- Instrumentos a utilizarse tanto para la observación experimental como para la observación en laboratorio
- Vaciado de datos recolectados en las fichas estructuradas .

### 3.2.- RECURSOS.

El recurso financiero y humano estará asumido por la tesista.

### 3.3.- VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO.

Por ser una investigación de observación experimental y de observación de laboratorio se instalará la investigación considerando antecedentes de investigaciones similares con diferentes especies de plantas , que se han realizado en diferentes países en materia de fitorremediación .

## 4.- ESTRATEGIA PARA MANEJAR LOS RESULTADOS.

### 4.1.- A NIVEL DE SISTEMATIZACIÓN.

Para el análisis de datos obtenidos se utilizaran la prueba estadística, Desviación Standar

Análisis de varianza ANVA

Prueba de Tukey.

Se utilizará el paquete software IBM SPSS Statistics Versión 20.0

4.2.- A NIVEL DE ESTUDIO DE LOS DATOS.

**ANALISIS ESTADÍSTICO:**

**TABLA DE DOBLE ENTRADA**

<b>Símbolo Del efecto</b>	<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>a3</b>
b 1	a1 b1	a 2 b 1	a3 b1
b 2	a1 b2	a 2 b2	a3 b2
b 3	a1 b3	a 2 b3	a 3 b 3
b 4	a1 b4	a2 b4	a 3 b4

**ANVA**

<b>F.V.</b>	<b>S.C.</b>	<b>G.L.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F.C.</b>	<b>F. Tabulado</b>		<b>Sig.</b>
					<b>5 %</b>	<b>1 %</b>	
<b>Total</b>		47					
<b>Factor A</b>		2					
<b>Factor B</b>		3					
<b>Int. AxB</b>		6					
<b>Error</b>		36					

$$C V = \frac{C.M. E}{X} \times 100$$



FUENTE DE VARIACION	DE GRADOS DE LIBERTAD
Total	$abn - 1 = (3)(4)(4) - 1 = 47$
Factor A	$a - 1 = 3 - 1 = 2$
Factor B	$b - 1 = 4 - 1 = 3$
Int A x B	$(a - 1)(b - 1) = (2)(3) = 6$
Error	$ab(n - 1) = (3)(4)(4 - 1) = 36$

#### 4.3.- A NIVEL DE CONCLUSIONES.

- Conclusiones relativas en función al nivel de absorción de plomo por *Amaranthus spinosus*.
- Conclusiones relativas a la cantidad de acumulación de plomo por las hojas y tallo.
- Conclusiones relativas a la cantidad de absorción de plomo en la raíz, e inflorescencia.
- Conclusiones relativa a los análisis estadísticos de la observación técnica.

#### 4.4.- A NIVEL DE RECOMENDACIONES.

Para estudios posteriores se recomendará:

- Para contrarrestar la contaminación de los suelos, sub suelo, agua, se recomendará la utilización de otras especies vegetales tolerantes a metales pesados para la tecnología de fitorremediación .
- La presencia de los metales pesados caso el plomo, cadmio, zinc y otros en los diferentes ecosistemas, causan muchas pérdidas productivas , así como intoxicaciones graves en los organismos vivos y especialmente en el hombre , se recomendará que el gobierno Nacional, Local y otras instituciones como el Ministerio del Ambiente, Ministerio de Salud, el Ministerio de Energía y Minas , las empresas mineras y otras deberan de asignar un presupuesto para trabajos de fitorremediación, y de esta manera

promover , incentivar y participar activamente en limpiar y/o disminuir los niveles de metales pesados en los diferentes ecosistemas, a través de proyectos de investigación.

- Se recomendará buscar un método de tratamiento para la disposición final de las especies utilizadas en la fitorremediación



#### IV.- CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	MES	2011					2012			
		AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Elaboración del Proyecto		■								
Recolección y siembra de semillas en almácigos			■	■						
Transplante e inicio de experimento				■	■					
Toma de datos cada 15 días					■	■	■	■		
Extracción de las plantas y análisis de la absorción de Pb.							■	■		
Procesamiento de datos									■	■
Redacción del informe final										■







# ANEXOS

**CODIFICACION Y ESPECIFICACION DE LAS MUESTRAS - TECNICA DE OBSERVACION  
EXPERIMENTAL**

<b>Muestra</b>	<b>Código</b>	<b>Concentracion Pb</b>	<b>Parte de la Planta</b>
1	IC1R	200 ppm	R = Raiz TH = Tallo Hojas Y= Inflorescencia
2	IC2R		
3	IC3R		
4	ITP		
5	IC1TH	400 ppm	
6	IC2TH		
7	IC3TH		
8	ITP	0 ppm - Testigo	
9	IC1Y	600ppm	
10	IC2Y		
11	IC3Y		
12	ITP	0 ppm - Testigo	
13	IIC1R	200 ppm	R = Raiz TH = Tallo Hojas Y= Inflorescencia
14	IIC2R		
15	IIC3R		
16	IITP	0 ppm - Testigo	
17	IC1TH	400 ppm	
18	IIC2TH		
19	IIC3TH		
20	IITP	0 ppm - Testigo	
21	IIC1Y	600ppm	
22	IIC2Y		
23	IIC3Y		
24	IITP	0 ppm - Testigo	
25	IIIC1R	200 ppm	R = Raiz TH = Tallo Hojas Y= Inflorescencia
26	IIIC2R		
27	IIIC3R		
28	IIITP	0 ppm - Testigo	
29	IIC1TH	400 ppm	
30	IIIC2TH		
31	IIIC3TH		
32	IIITP	0 ppm - Testigo	
33	IIIC1Y	600ppm	
34	IIIC2Y		
35	IIIC3Y		
36	IIITP	0 ppm - Testigo	
37	IVC1R	200 ppm	R = Raiz TH = Tallo Hojas Y= Inflorescencia
38	IVC2R		
39	IVC3R		
40	IVTP	0 ppm - Testigo	
41	IVC1TH	400 ppm	
42	IVC2TH		
43	IVC3TH		
44	IVTP	0 ppm - Testigo	
45	IVC1Y	600ppm	
46	IVC2Y		
47	IVC3Y		
48	IVTP	0 ppm - Testigo	

LECTURA DE LA CONCENTRACION DE PLOMO POR A.A

MUESTRA	CODIGO	TRANSMITANCIA	mg Pb/kg. Planta
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			



**CALCULOS DE CAPACIDAD DE ABSORCION de plomo**

MUESTRA	CODIGO	PESO MUESTRA SECA *G	Vol aforo (ml)	mg/Lde Pb absorbido
1	IC1R			
2	IC2R			
3	IC3R			
4	ITP			
5	IC1TH			
6	IC2TH			
7	IC3TH			
8	ITP			
9	IC1Y			
10	IC2Y			
11	IC3Y			
12	ITP			
13	IIC1R			
14	IC2R			
15	IIC3R			
16	IITP			
17	IIC1TH			
18	IIC2TH			
19	IIC3TH			
20	IITP			
21	IIC1Y			
22	IIC2Y			
23	IIC3Y			
24	IITP			
25	IIIC1R			
26	IIIC2R			
27	IIIC3R			
28	IIITP			
29	IIIC1TH			
30	IIIC2TH			
31	IIIC3TH			
32	IIITP			
33	IIIC1Y			
34	IIIC2Y			
35	IIIC3Y			
36	IIITP			
37	IVC1R			
38	IVC2R			
39	IVC3R			
40	IVTP			
41	IVC1TH			
42	IVC2TH			
43	IVC3TH			
44	IVTP			
45	IVC1Y			
46	IVC2Y			
47	IVC3Y			
48	IVTP			

