

T.M/378/A91

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS



**“EFICACIA DE LA FITOEXTRACCIÓN PARA LA REMEDIACIÓN DE
SUELOS CONTAMINADOS EN VILLA DE PASCO”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA UNIVERSITARIA CON MENCIÓN EN
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

AUTOR: ING° CARMEN GILDA AVELINO CARHUARICRA

Callao, 2013
PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

MAESTRÍA EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA UNIVERSITARIA

RESOLUCIÓN N° 014-2013-SPG-FCE-UNAC, que nombra el Jurado Examinador para evaluar en acto Público.

- | | |
|-------------------------------------|-------------------|
| • Mg. CARLOS I. PALOMARES PALOMARES | Presidente |
| • Mg. ORLANDO JUAN MARQUEZ CARO | Secretario |
| • Mg. SORIANO FRANCIA JOSÉ | Miembro |
| • Mg. AVILA MORALES HERNAN | Miembro |

ASESOR DE TESIS: Mg. JOSÉ A. COBRERA CUBAS

N° de Folios: 68 del Libro de Actas.



Universidad Nacional del Callao
Facultad de Ciencias Económicas
Sección de Posgrado

RESOLUCIÓN N° 014 - 2013-SPG-FCE-UNAC

Bellavista, 21 de Julio del 2013.

LA DIRECCIÓN DE LA SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

VISTA:

La solicitud de fecha 20 de Julio del 2013, presentada por la **Ing. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA**, solicitando el **Nombramiento de un Jurado Examinador**, así como el día y la hora para sustentar la Tesis intitulada: **"EFICACIA DE LA FITOEXTRACCIÓN PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN VILLA DE PASCO"**.

CONSIDERANDO:

Que, habiendo sido declarada Expedita la **Ing. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA**, mediante **Resolución N° 013-2013-SPG-FCE-UNAC** de fecha 19 de Julio del 2013, teniendo los informes favorables de los integrantes del Jurado Revisor y habiendo presentado sus 04 ejemplares de la Tesis de Maestría antes mencionada;

En uso de las atribuciones que le confiere al Director de la Sección de Post Grado de la Facultad de Ciencias Económicas, de los Art. 70°, 71° del Reglamento de Estudios de Maestría, aprobado por Resolución N° 043-2012-CU de fecha 29 de febrero de 2012;

RESUELVE:

1.- **Designar como Jurado Examinador para evaluar en Acto Público** el día viernes 02 de Agosto del 2013 a las 10:00 horas en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Económicas de esta Casa Superior de Estudios, la Tesis de la **Ing. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA**, intitulada: **"EFICACIA DE LA FITOEXTRACCIÓN PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN VILLA DE PASCO"**, Para optar el Grado Académico de Maestro en Investigación y Docencia Universitaria con Mención en Investigación Científica y Tecnológica, el cual está conformado por los siguientes Docentes:

>	Mg. CARLOS I. PALOMARES PALOMARES	Presidente
>	Mg. ORLANDO JUAN MARQUEZ CARO	Secretario
>	Mg. SORIANO FRANCIA JOSÉ	Miembro
>	Mg. AVILA MORALES HERNAN	Miembro
>	ASESOR DE TESIS : Mg. JOSÉ A. CORBERA CUBAS.	

2.- Transcribir la presente Resolución a las Dependencias Académicas que corresponda, y a la interesada para los fines consiguientes.

Regístrese, Comuníquese y Archívese:

DDC/eb

 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Facultad de Ciencias Económicas
Mg. David Dávila Cajahuanca
DIRECTOR DE LA SECCIÓN DE POSGRADO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
SECCIÓN DE POSGRADO**

**ACTA N° 044 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA UNIVERSITARIA CON MENCIÓN EN
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

Siendo las... *11 HORAS*del día Viernes 02 de Agosto del dos mil trece, en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional del Callao, se reunió el Jurado Examinador conformado por los siguientes docentes:

Mg. PALOMARES PALOMARES CARLOS IVAN	Presidente
Mg. MARQUEZ CARO ORLANDO JUAN	Secretario
Mg. SORIANO FRANCIA JOSÉ	Miembro
Mg. AVILA MORALES HERNAN	Miembro

Con el fin de evaluar la sustentación de Tesis de la Ing. **AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA**, Intitulada: **"EFICACIA DE LA FITOEXTRACCIÓN PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN VILLA DE PASCO"**. Con el quórum establecido según el correspondiente reglamento de Estudios de Maestría de la Universidad Nacional del Callao (Resolución de Consejo Universitario N° 006-2012 CU del 20 de Enero del 2012), vigente y luego de la exposición del sustentante, los Miembros del Jurado hicieron las respectivas preguntas, las mismas que:

Fueron Absueltas en forma Satisfactoria.

En consecuencia, este Jurado acordó *Aprobada con la Nota de Dieciocho (Muy Buena)*. La tesis, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA UNIVERSITARIA**, conforme al artículo (30° inc. b) del reglamento mencionado, con lo que se dio por terminado el Acto, siendo las *12 HORAS*del mismo día.

Bellavista 02 de agosto del 2013.

Mg. PALOMARES PALOMARES CARLOS IVAN
Presidente

Mg. MARQUEZ CARO ORLANDO JUAN
Secretario

Mg. SORIANO FRANCIA JOSÉ
Miembro

Mg. AVILA MORALES HERNAN
Miembro

AGRADECIMIENTO

- Al Dr. Eduardo García Villena, profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña - España, por su ayuda en los temas relacionados a remediación de suelos.
- Al Blgo. Max Carbajal Castillo, por su asesoría en la clasificación e identificación de las especies biológicas estudiadas en el presente trabajo.
- Al Mg. José Corbera Cubas por su asesoría en el desarrollo del presente trabajo de investigación.
- Al Instituto de Corrosión y Protección (ICP-PUCP), por los análisis realizados utilizando espectroscopía de emisión atómica de plasma inductivamente acoplado (ICP) y por el préstamo del equipo multiparámetro de campo.
- A la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC, por brindarme el uso de sus ambientes de laboratorios y equipos.
- A mis profesores de la Maestría, por todos los conocimientos impartidos durante mis estudios.
- A la Universidad Nacional del Callao por darme la oportunidad de realizar estudios de Maestría.

Finalmente quiero agradecer a mis padres, por que sin ellos no hubiera conocido el camino de la responsabilidad y del compromiso.

ÍNDICE

CARÁTULA	
PÁGINA DE RESPETO	
HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN	
AGRADECIMIENTO	01
RESUMEN	11
ABSTRACT	12

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Identificación del problema	13
1.2	Formulación del problema	14
1.2.1	Problema General	14
1.2.2	Problemas Específicos	14
1.3	Objetivos de la investigación	15
1.3.1	Objetivo General	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	Justificación	15

II. MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes del estudio	17
2.2	Conceptos	20
2.2.1	Movilización natural de los metales	20
2.2.2	Los metales en el suelo	21
2.2.3	Dinámica de los metales en el suelo	22
2.2.4	Biodisponibilidad de los metales	27

2.2.5	Factores del suelo que afectan la acumulación	29
2.2.6	Biorremediación de los suelos	32
2.2.7	Fitoextracción para remediación de suelos	34
2.2.7.1	Especies de plantas extractoras	37
2.3	Bases Teóricas	38
2.3.1	Plantas en ambientes contaminados por metales	38
2.3.2	Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados	39
2.3.3	Absorción y transporte de metales en las plantas	39
2.3.4	Base genética a la tolerancia	42
2.3.5	Especificidad de la tolerancia a los metales	44
2.3.6	Estrategias de tolerancia hacia los metales	46
2.3.7	Mecanismos celulares de tolerancia	47
2.3.8	Valoración e índices de tolerancia a los metales	48
2.4	Efectos de los metales en los seres vivos	50
2.4.1	Toxicidad de arsénico, cadmio, plomo y zinc	52
2.4.1.1	Efectos del arsénico en la salud humana	52
2.4.1.2	Efectos del cadmio en la salud humana	52
2.4.1.3	Efectos del plomo en la salud humana	53
2.4.1.4	Efectos del zinc en la salud humana	54
2.5	Legislación en materia de suelos contaminados	55
2.6	Definición de términos básicos	58

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1	Definición de las variables	60
3.2	Operacionalización de variables	61
3.3	Hipótesis general e hipótesis específicas	62

IV. METODOLOGÍA

4.1	Tipo de investigación	64
4.2	Diseño de la investigación	64
4.3	Población y muestra	65
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
4.4.1	Obtención de muestras	66
4.4.2	Estaciones de muestreo	70
4.4.3	Técnica utilizada en el desarrollo experimental	71
4.4.3.1	Determinación de las características de los suelos	71
4.4.3.2	Análisis químico de materia orgánica	73
4.4.3.3	pH	76
4.4.3.4	Conductividad eléctrica	77
4.4.3.5	Tratamiento de muestras de suelo	78
4.4.3.6	Tratamiento de las hojas de las especies	79
4.4.3.7	Análisis químicos de suelos y hojas	81

4.5 Procedimientos de recolección de datos	82
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos	83

V. RESULTADOS

5.1 Características de los suelos	84
5.2 Absorción de arsénico por las especies A, B, C y D	86
5.3 Absorción de cadmio por las especies A, B, C y D	91
5.4 Absorción de plomo por las especies A, B, C y D	95
5.5 Absorción de zinc por las especies A, B, C y D	99
5.6 Índice de Bioconcentración de las especies A, B, C y D	103
5.7 Factor de Remediación de las especies A, B, C y D	107
5.8 Concentración final de los metales en suelos	110

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de hipótesis con los resultados	111
6.2 Contratación de resultados con otros estudios similares	113

VII. CONCLUSIONES	116
--------------------------	-----

VIII. RECOMENDACIONES	118
------------------------------	-----

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
---------------------------------------	-----

ANEXOS	127
---------------	-----

• Matriz de consistencia	128
• Instrumentos para recolección de datos	129
• Gráficos estadísticos	135
• Normatividad peruana-ECA de suelos	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°2.1	Formas químicas de los metales en el suelo	29
Tabla N°2.2	Plantas acumuladoras de metales	37
Tabla N°2.3	Concentración de metales que se consideran excesivos	51
Tabla N°2.4	Estándares de Calidad ambiental para suelos	57
Tabla N°4.1	Especies de plantas	67
Tabla N°4.2	Estaciones de muestreo	70
Tabla N°4.3	Contenido de materia orgánica	75
Tabla N°4.4	Clasificación de materia orgánica	75
Tabla N°4.5	Clasificación del pH de suelos	77
Tabla N°4.6	Tratamiento de muestras	78
Tabla N°4.7	Métodos para determinar metales	81
Tabla N°5.1.1	Características edafológicas de los suelos	84
Tabla N°5.1.2	Concentración total de metales en suelos de Villa de Pasco	85
Tabla N°5.2.1	Concentración en ppm de arsénico en la estación (E1)	86
Tabla N°5.2.2	Concentración en ppm de arsénico en la estación (E2)	87
Tabla N°5.2.3	Concentración en ppm de arsénico en la estación (E3)	87
Tabla N°5.2.4	Concentración en ppm de arsénico en la estación (E4)	88
Tabla N°5.2.5	Concentración en ppm de arsénico en la estación (E5)	88
Tabla N°5.2.6	Concentración en ppm de arsénico en la estación (E6)	89
Tabla N°5.2.7	Absorción de arsénico por las especies A, B, C y D	90
Tabla N°5.3.1	Concentración en ppm de cadmio en la estación (E1)	91
Tabla N°5.3.2	Concentración en ppm de cadmio en la estación (E2)	91
Tabla N°5.3.3	Concentración en ppm de cadmio en la estación (E3)	92
Tabla N°5.3.4	Concentración en ppm de cadmio en la estación (E4)	92
Tabla N°5.3.5	Concentración en ppm de cadmio en la estación (E5)	93

Tabla N°5.3.6	Concentración en ppm de cadmio en la estación (E6)	93
Tabla N°5.3.7	Absorción de cadmio por las especies A,B,C y D	94
Tabla N°5.4.1	Concentración en ppm de plomo en la estación (E1)	95
Tabla N°5.4.2	Concentración en ppm de plomo en la estación (E2)	95
Tabla N°5.4.3	Concentración en ppm de plomo en la estación (E3)	96
Tabla N°5.4.4	Concentración en ppm de plomo en la estación (E4)	96
Tabla N°5.4.5	Concentración en ppm de plomo en la estación (E5)	97
Tabla N°5.4.6	Concentración en ppm de plomo en la estación (E6)	97
Tabla N°5.4.7	Absorción de plomo por las especies A, B, C y D	98
Tabla N°5.5.1	Concentración en ppm de zinc en la estación (E1)	99
Tabla N°5.5.2	Concentración en ppm de zinc en la estación (E2)	99
Tabla N°5.5.3	Concentración en ppm de zinc en la estación (E3)	100
Tabla N°5.5.4	Concentración en ppm de zinc en la estación (E4)	100
Tabla N°5.5.5	Concentración en ppm de zinc en la estación (E5)	101
Tabla N°5.5.6	Concentración en ppm de zinc en la estación (E6)	101
Tabla N°5.5.7	Absorción de zinc por las especies A, B, C y D	102
Tabla N°5.6.1	Índice de Bioconcentración de las especies A,B,C y D para el As	103
Tabla N°5.6.2	Índice de Bioconcentración de las especies A,B,Cy D para el Cd	104
Tabla N°5.6.3	Índice de Bioconcentración de las especies A,B,Cy D para el Pb	105
Tabla N°5.6.4	Índice de Bioconcentración de las especies A,B,C y D para el Zn	106
Tabla N°5.7.1	Factor de Remediación de la especie A	107
Tabla N°5.7.2	Factor de Remediación de la especie B	107
Tabla N°5.7.3	Factor de Remediación de la especie C	108
Tabla N°5.7.4	Factor de Remediación de la especie D	108
Tabla N°5.7.5	Factor de Remediación de las especies A,B,C y D	109
Tabla N°5.8.1	Concentración final de metales en los suelos de Villa de Pasco	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°2.1	Movilización natural de metales por acción del viento	21
Figura N°2.2	Liberación de metales y sulfatos al medio edáfico	22
Figura N°2.3	Dinámica de los metales pesados en el suelo	23
Figura N°2.4	Factores que afectan a la concentración de elementos	24
Figura N°2.5	Dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-planta	25
Figura N°2.6	Compartimentalización de los metales en el suelo	27
Figura N°2.7	Los distintos procesos de acumulación	35
Figura N°2.8	Captación de metales por fitoextracción	36
Figura N°2.9	Estructura de la raíz vegetal - vías de absorción	42
Figura N°4.1	Situación geográfica de la zona de estudio	65
Figura N°4.2	Vegetación crecida espontáneamente en Villa de Pasco	66
Figura N°4.3	Especie A: <i>Sonchus oleraceus</i>	68
Figura N°4.4	Especie B: <i>Lepidium bipinnatifidum</i>	68
Figura N°4.5	Especie C: <i>Plantago orbignyana</i>	69
Figura N°4.6	Especie D: <i>Bidens triplinervia</i>	69
Figura N°4.7	Estaciones de muestreo	70
Figura N°4.8	Estación - Especies A,B,C y D	71
Figura N°4.9	Triángulo de textura	72
Figura N°4.10	Preparación de muestras	79
Figura N°4.11	Calcinación de las muestras	80
Figura N°4.12	Análisis de las muestras	80
Figura N°5.1.1	pH en las estaciones de muestreo	84
Figura N°5.1.2	Porcentaje de materia orgánica en las estaciones	85
Figura N°5.1.3	Concentración inicial de metales en los suelos de Villa de Pasco	86
Figura N°5.2.1	Absorción de arsénico por las especies A,B,C y D	90

Figura N°5.3.1	Absorción de cadmio por las especies A,B,C y D	94
Figura N°5.4.1	Absorción de plomo por las especies A,B,C y D	98
Figura N°5.5.1	Absorción de zinc por las especies A,B,C y D	102
Figura N°5.6.1	Índice de Bioconcentración de las especies A,B,C y D para el As	103
Figura N°5.6.2	Índice de Bioconcentración de las especies A,B,C y D para el Cd	104
Figura N°5.6.3	Índice de Bioconcentración de las especies A,B,C y D para el Pb	105
Figura N°5.6.4	Índice de Bioconcentración de las especies A,B,C y D para el Zn	106
Figura N°5.7.1	Factor de remediación de las especies A, B, C y D	109
Figura N°5.8.1	Contenido final de metales en suelos en ppm	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1	Probabilidad normal para la absorción de As en la especie A	135
Gráfico N°2	Probabilidad normal para la absorción de As en la especie B	135
Gráfico N°3	Probabilidad normal para la absorción de As en la especie C	136
Gráfico N°4	Probabilidad normal para la absorción de As en la especie D	136
Gráfico N°5	Probabilidad normal para la absorción de Cd en la especie A	137
Gráfico N°6	Probabilidad normal para la absorción de Cd en la especie B	137
Gráfico N°7	Probabilidad normal para la absorción de Cd en la especie C	138
Gráfico N°8	Probabilidad normal para la absorción de Cd en la especie D	138
Gráfico N°9	Probabilidad normal para la absorción de Pb en la especie A	139
Gráfico N°10	Probabilidad normal para la absorción de Pb en la especie B	139
Gráfico N°11	Probabilidad normal para la absorción de Pb en la especie C	140
Gráfico N°12	Probabilidad normal para la absorción de Pb en la especie D	140
Gráfico N°13	Probabilidad normal para la absorción de Zn en la especie A	141
Gráfico N°14	Probabilidad normal para la absorción de Zn en la especie B	141
Gráfico N°15	Probabilidad normal para la absorción de Zn en la especie C	142
Gráfico N°16	Probabilidad normal para la absorción de Zn en la especie D	142

RESUMEN

El presente trabajo se ha realizado con el propósito de determinar las especies fitoextractoras más eficaces para remediar los suelos contaminados por elementos metálicos en Villa de Pasco para desarrollar actividades agrícolas. Siendo las especies el *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y el *Bidens triplinervia* (especie D) para la absorción de los metales arsénico, cadmio, plomo y zinc. Se ubicaron 6 estaciones de muestreo: 2 en el margen derecho, 2 en el margen izquierdo y 2 en el centro. Se determinó las características edafológicas de los suelos, %arena, %limo, %arcilla y materia orgánica. Se midió in situ, pH, conductividad. Para el análisis de las hojas se utilizó el método de Ritter et al. (1998) y el contenido total de metales se determinó por ICP-OES.

Los resultados de las concentraciones de los metales en las hojas de las cuatro especies, demostraron que el *Sonchus oleraceus* (especie A), presentó mayor eficacia para absorber arsénico, el *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), es más eficaz para absorber el cadmio, mientras que el *Plantago orbignyana* (especie C) es más eficaz para absorber el plomo y el *Bidens triplinervia* (especie D) es más eficaz para absorber el zinc; luego se determinó el Índice de Bioconcentración y el Factor de remediación de las especies, que indican que estas especies representan un gran potencial para remediar suelos contaminados por metales, concluyendo que los suelos de Villa de Pasco están remediados y no existen ningún riesgo para la salud humana, el ecosistema y posteriormente podría desarrollarse las actividades agrícolas en la zona.

ABSTRACT

The current investigation has been conducted in order to determine which are the most effective phytoextractor species to remediate soils contaminated by metallic elements in Villa de Pasco which are used for agricultural activities.

Being the species for the absorption of metals such as arsenic, cadmium, lead and zinc: the *Sonchus oleraceus* (species A), *Lepidium bipinnatifidum* (species B), *Plantago orbignyana* (species C) and *Bidens triplinervia* (species D).

Six sampling stations were located: two in the right margin, two in the left margin and two in the center. It was determined the edaphological characteristics of the soils, % sand, % silt, % clay and organic matter. It was measured in situ pH and conductivity. For the leaves analysis the Ritter et al. method (1998) was used, and the total metal content was determined by ICP-OES.

The result of metal concentration in leaves of all four species, demonstrated that the *Sonchus oleraceus* (species A) presented more efficiency to the arsenic, *Lepidium bipinnatifidum* (species B) is more effective at absorbing cadmium, while *Plantago orbignyana* (species C) is more effective at absorbing lead and *Bidens triplinervia* (species D) is more effective to absorb zinc; then it was determined the rate of Bioconcentration and the remediation Factor of the species, which indicates that these species represent a great potential to remediate soils contaminated by metals, concluding that the soils in Villa de Pasco are remediated and there are no risks for human health or the ecosystem, therefore agricultural activities could be developed in the future.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del Problema

La creciente actividad minera ha generado de manera inevitable un nivel de contaminación cada vez más extensivo, provocando impactos al medio ambiente y generando suelos con limitaciones fisicoquímicas, biológicas y riesgos a la salud, es así en el centro poblado de Villa de Pasco se ha visto afectado la calidad de los productos agrícolas por los procesos de transformación de los recursos mineros.

Ante esta problemática de suelos contaminados por metales, han surgido nuevas alternativas de remediación siendo una de ellas la fitoextracción. Actualmente, existen gran número de especies de plantas clasificadas como fitoextractoras que absorben metales, destacan plantas de las familias Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae, Pteridaceae, Lamiaceae, Thlaspi calaminare, Thlaspi caerulescens, Brassica Juncea entre otras.

Las especies que fueron seleccionadas de acuerdo a su abundancia de la flora espontánea alrededor de la minas, son cuatro; el *Sonchus oleraceus* (A), perteneciente a la familia Asteraceae; *Lepidium bipinnatifidum* (B) perteneciente a la familia Brassicaceae; la especie *Plantago orbignyana* (C) perteneciente a la familia Plantaginaceae; y la *Bidens triplinervia* (D) pertenecientes a la familia Asteraceae; de estas cuatro especies ¿cuál será más eficaz para remediar los suelos contaminados por elementos metálicos en Villa de Pasco?

1.2 Formulación de problemas

1.2.1 Problema General

¿Cuál es la eficacia de las especies fitoextractoras A, B, C y D en la absorción de metales y si éstas tienen índices aceptables de tolerancia a los metales como la bioconcentración y el factor de remediación que permitan remediar los suelos de Villa de Pasco que están contaminados por elementos metálicos producidos por la actividad minera en la zona, durante los meses de enero a julio del 2012?

1.2.2 Problemas Específicos

1. Qué tan eficaz es el *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y el *Bidens triplinervia* (especie D) para la absorción de los metales arsénico, cadmio, plomo y zinc, que contaminan los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012?
- 2.Cuál es el índice de bioconcentración de las especies *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *plantago orbignyana* (especie C) y del *Bidens triplinervia* (especie D), que permitan remediar los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012?
- 3.Cuál es el factor de remediación de las especies A, B, C y D de los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar las especies fitoextractoras más eficaces para remediar los suelos contaminados por elementos metálicos, producidos por la actividad minera en Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar la eficacia de *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y del *Bidens triplinervia* (especie D), para la absorción de los metales arsénico, cadmio, plomo y zinc, que contaminan los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.
2. Determinar el Índice de Bioconcentración de las especies *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y del *Bidens triplinervia* (especie D), que permitan remediar los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.
3. Determinar el Factor de remediación de las especies *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y del *Bidens triplinervia* (especie D) de los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.

1.4 Justificación

El estudio se justifica por la necesidad de recuperar los suelos agrícolas de Villa de Pasco que inicialmente estos suelos eran productivos y actualmente

ya no son aptos para el desarrollo agrícola, además proteger al medio ambiente y a la salud humana de los efectos nocivos de la contaminación generados por estos suelos que contienen metales tóxicos, por ello se considera imprescindible determinar la eficacia de las especies fitoextractoras de metales como medida correctiva ya que los metales tóxicos son captados en forma selectiva por las raíces y pasan a formar parte de los tallos y hojas de las plantas.

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

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

La idea de utilizar la fitorremediación en suelos fue introducida en el año 1983 (Chaney, 1983) y ganó aceptación en 1990 al tratarse de una alternativa “verde”. Los organismos gubernamentales incluyen la fitorremediación como estrategia de limpieza para dar un mejor aprovechamiento a los fondos disponibles. Además, empresas consultoras están incluyendo en sus paquetes tecnológicos la fitorremediación, para anunciar su participación con el medio ambiente (Pilon-Smits, 2005). Aunque existen numerosas investigaciones en esta área, existen pocos trabajos en América del Sur (Bech et al., 2002 y Ginocchio y Baker 2004). Además de los numerosos programas nacionales, la Unión Europea ha financiado muchas iniciativas en este tema de la biorremediación de suelos, involucrando 29 países y cerca de 250 grupos de investigación de los cuales un 60% se distribuyen en instituciones académicas, un 30% en investigadores de centros e institutos y un 10% en compañías privadas. Sin embargo, estas investigaciones están enfocadas básicamente a presentar los fundamentos de estas estrategias de remediación (fisiología, metabolismo, bioquímica, genética, etc.), mientras que hay pocas investigaciones prácticas que involucren el desarrollo de estas tecnologías a nivel experimental (Marmiroli et al., 2010).

Otras investigaciones sobre la fitoextracción, señalan que las Asteraceae ha reportado la tolerancia al plomo en *Sonchus oleraceus* y se le ha propuesto como especie fitorremediadora de ambientes contaminados con este metal

(Xiong, 1997). La especie *Thlaspi caurulencens* en suelos contaminados con zinc y cadmio, logra eliminar, valores del 43 y 77 % de estos metales en un suelo agrícola.

Por su parte, un grupo de científicos de las Universidades de Maryland (USA) y Sheffield (UK) dirigidos por Chaney han desarrollado diferentes estudios para determinar los requisitos de una fitoextracción comercial de níquel con especies del género *Alyssum*, consiguiendo desarrollar una tecnología patentada (Chaney et al., 1998; Chaney et al., 2005), y una fitoextracción de Zn y Cd con cultivares mejorados de *Thlaspi caerulescens* (Chaney et al., 1995; Chaney et al., 2005).

La Dirección de Investigación en Residuos y Sitios Contaminados y Sustancias Tóxicas, del Instituto de Ecología, México, 2005, elaboró un Informe anual sobre la "Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales", realizados por Velasco Trejo Juan, De La Rosa Pérez David y Ramírez Islas Martha, en el presente informe se presentan diversos estudios de tratamientos de suelos debido a la abundancia de metales y al riesgo que pudieran ocasionar al ambiente y a la salud humana. Estas alternativas tecnológicas son: separación física, lavado, remediación electrocinética, solidificación/estabilización y biorremediación.

Otro trabajo de investigación en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, en el 2008, el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Centro de Investigaciones Químicas, desarrolló la fitorremediación como una alternativa para eliminar la contaminación, realizado por Angélica Evelin

Delgadillo-López et al, César Abelardo González-Ramírez, Francisco Prieto-García, José Roberto Villagómez-Ibarra.

En el 2009, Zhao et al., demostraron que la fitoextracción de zinc y cadmio por *Thlaspi caerulescens* es sólo eficiente en suelos moderadamente contaminados, ya que el factor de bioconcentración de zinc ([parte aérea]:[suelo]), es una medida de la capacidad de la planta para absorber y transportar el metal del suelo hacia las partes fácilmente cosechables, varía desde 30 en suelos moderadamente contaminados, hasta 1 cuando la planta crece en suelos con una alta contaminación de zinc.

Recientemente una tesis doctoral sobre "Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana", desarrollado en la Universidad de Barcelona - España por Paola Andrea Durán Cuevas en el 2010, ha precisado las diferencias entre estos distintos factores ecológicos que han sido motivo para investigar comparativamente la tolerancia de las respectivas floras frente al impacto de los metales del suelo en dos localidades diferentes: Hualgayoc, Cajamarca (Perú) en la zona andina y Poblet, Tarragona (España) en el área mediterránea.

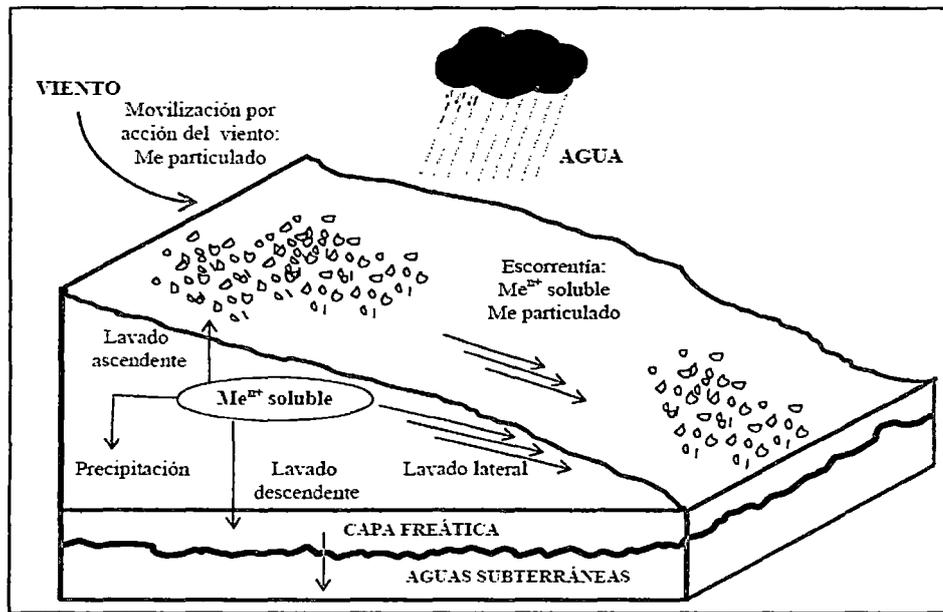
2.2 Conceptos

De acuerdo con el Plan Director para la Protección del Suelo se considera como suelo contaminado aquél que ha sufrido un cambio en sus características físicas, químicas o biológicas que por su naturaleza, dimensión o duración en el tiempo resulte incompatible con sus propiedades funcionales de uso o suponga una amenaza grave para la salud pública o el medio ambiente. Los metales constituyen uno de los grupos de contaminantes ambientales sujetos a una mayor preocupación, fundamentalmente debido a su movilidad y a las bajas concentraciones a las que comienzan a manifestar sus efectos tóxicos.

2.2.1 Movilización natural de los metales

La movilidad natural de los metales en los suelos es consecuencia de la actividad biológica, de las interacciones sólido-líquido y de la acción del agua. En el caso de los residuos procedentes de la actividad minera, la movilización natural de metales puede tener lugar por la acción del viento, las precipitaciones que arrastran a las partículas por escorrentía, por lavado descendente, solubilizándose y pudiendo alcanzar hasta la capa freática y así contaminar las aguas subterráneas, como se muestra en la siguiente figura 2.1.

FIGURA N° 2.1
MOVILIZACIÓN NATURAL DE METALES POR ACCIÓN DEL VIENTO



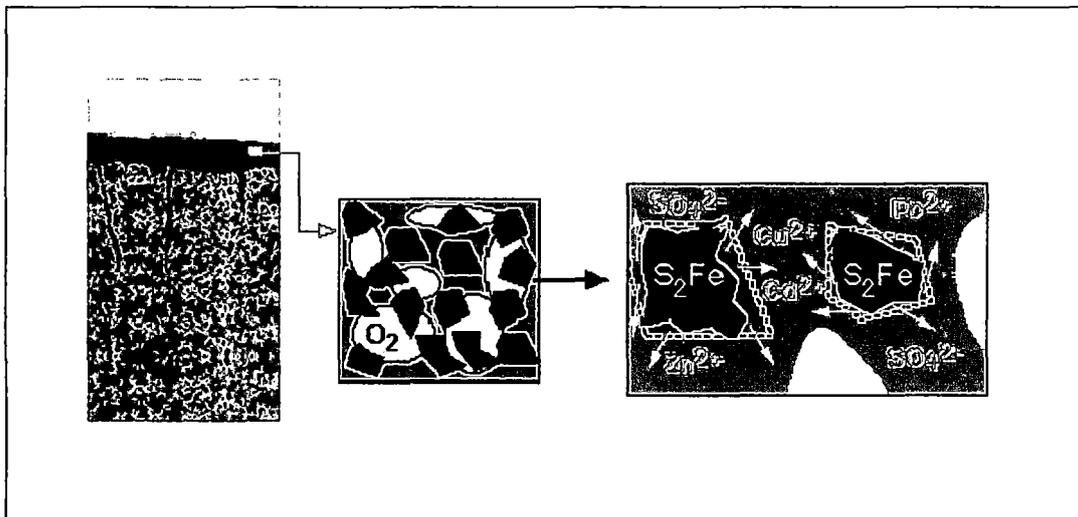
Fuente: García, I. y Dorronsoro, C. 2005.

2.2.2 Los metales en el suelo

El suelo es un componente esencial del medio ambiente, base de los ecosistemas terrestres, principio de muchas cadenas tróficas y soporte del medio urbano e industrial. Dentro de sus funciones actúa como tampón, controlando el transporte de elementos químicos y sustancias hacia la atmósfera, hidrosfera y biosfera (Kabata- Pendias y Pendias, 2000). Sin embargo, la función más importante del suelo es su productividad, base de supervivencia de los seres humanos. Por tanto, el mantenimiento de sus funciones ecológicas y agrícolas es una responsabilidad de toda la humanidad. Los suelos interactúan químicamente con la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera y, sobretodo, recibe el impacto de los seres vivos que, directa o indirectamente, pueden romper su equilibrio químico. Los contaminantes pueden permanecer por largo tiempo en el suelo, lo cual es especialmente

grave en el caso de los compuestos inorgánicos, como los metales pesados que son difícilmente degradables (Bech et al., 2001; Pilon-Smits, 2005). Mientras que, los compuestos orgánicos son más o menos biodegradables, excepto en algunos casos recalcitrantes (Dioxina), descomponiéndose y eliminándose hacia los freáticos o a la atmósfera en un tiempo no excesivamente largo (Bech et al., 2002).

FIGURA N° 2.2
LIBERACIÓN DE METALES Y SULFATOS AL MEDIO EDÁFICO



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

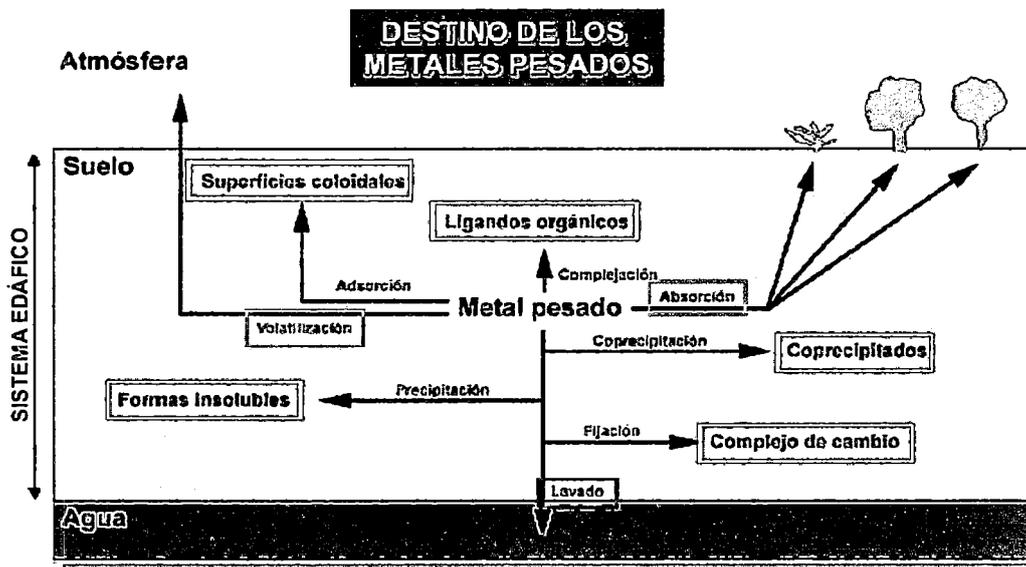
2.2.3 Dinámica de los metales en el suelo

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

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

- Pueden ser absorbidos por las plantas y así, incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasar a la atmósfera por volatilización.
- Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

FIGURA N° 2.3
DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO



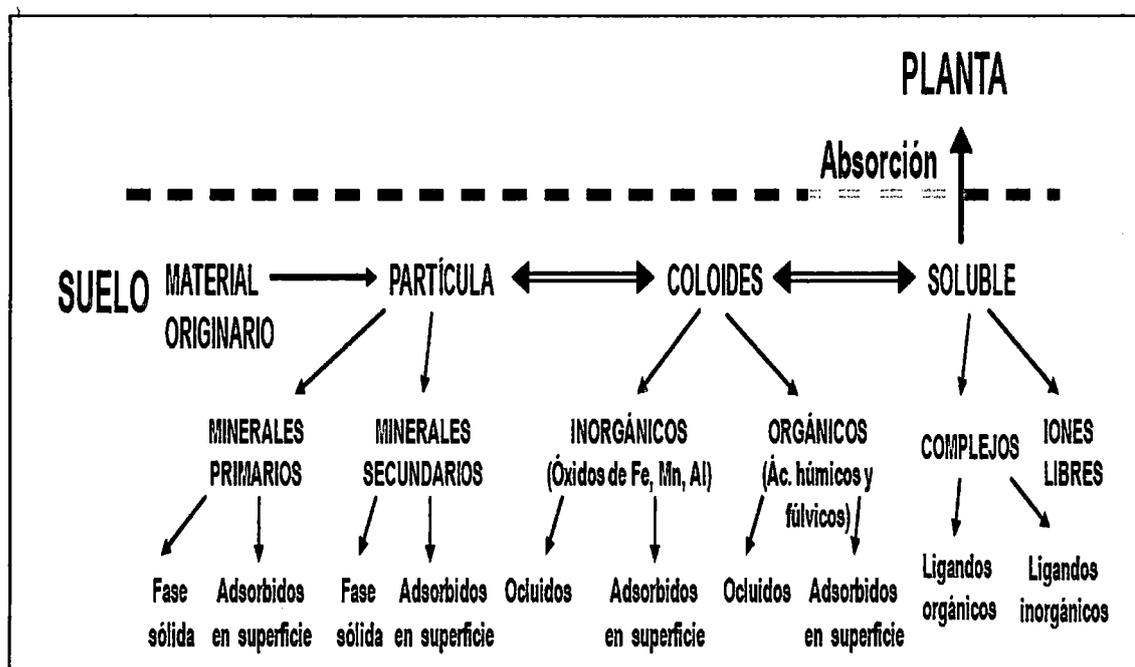
Fuente: Juárez Soto H. Contaminación por metales pesados, UNA. 2006

Cuando un contaminante se incorpora al suelo se desencadena una serie de procesos físicos, químicos o biológicos que condicionan los efectos que éste puede causar no sólo sobre el sistema suelo sino también sobre el resto de compartimentos ambientales, sobre la cadena trófica y la transferencia a las plantas. Una vez incorporado el contaminante, éste puede verse influenciado por procesos tales como transformación, retención y transporte.

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

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

FIGURA N° 2.4
FACTORES QUE AFECTAN A LA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN EL SUELO

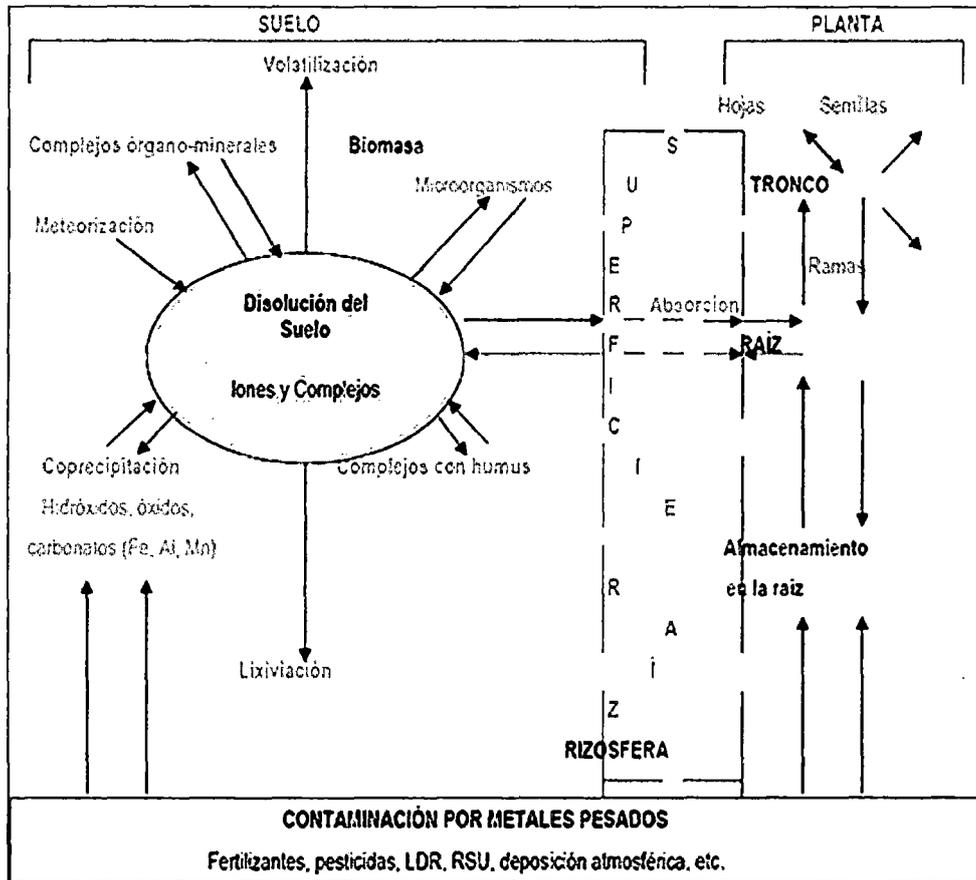


Fuente: Menguel y Kirkby; Mecanismos y Suelos. 2001.

Los mecanismos más importantes para el control de contaminantes son: reacciones de precipitación-disolución, reacciones ácido base, reacciones

oxidación reducción, reacciones adsorción-desorción, reacciones de complejación y procesos metabólicos.

FIGURA N° 2.5
DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA



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

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

Los contaminantes se diluyen más o menos rápidamente en los ríos o en el aire. Sin embargo, en los suelos tienden a acumularse. Por esta razón, el suelo actúa como un sumidero de la mayor parte de los contaminantes, incluidos los metales. La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino también de las características del medio donde se encuentre de

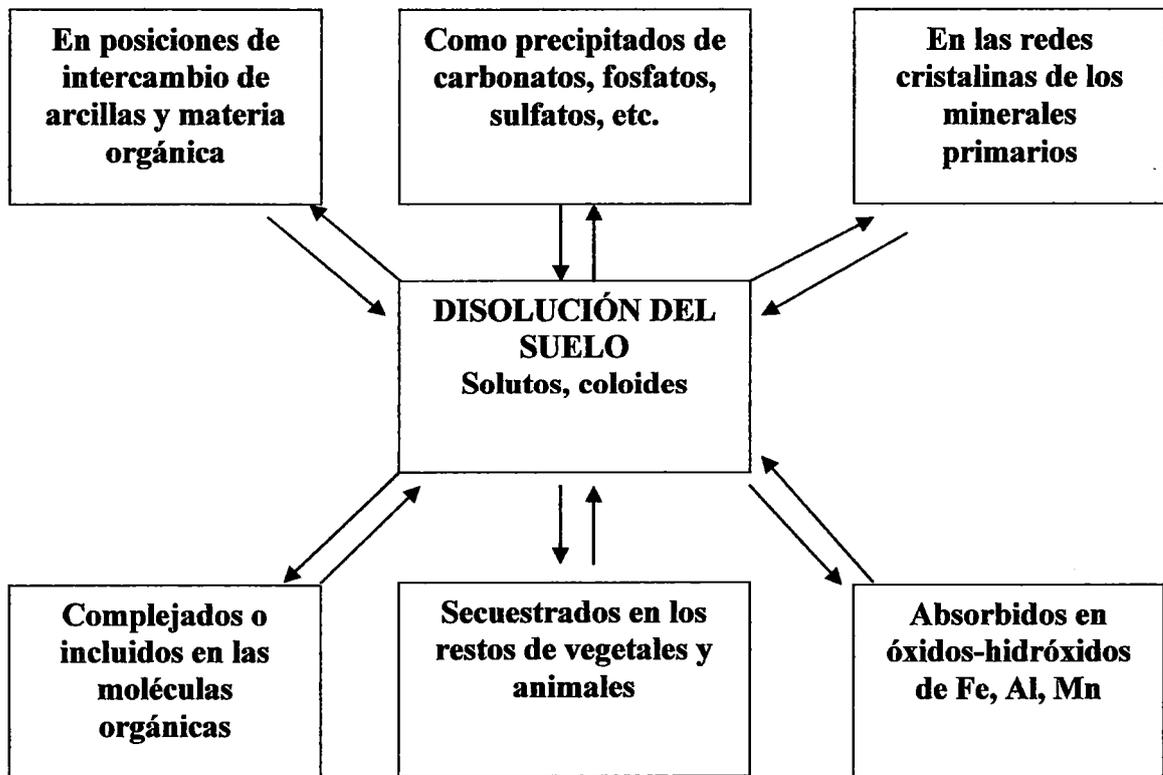
manera que la sensibilidad de los suelos a la agresión que tiene lugar por parte de los agentes contaminantes va a ser muy distinta dependiendo de una serie de características edáficas. Para determinar el grado de contaminación de un suelo se hace necesario considerar la biodisponibilidad, movilidad y persistencia (Calvo de Anta, 1997).

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

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

- Dentro de las redes cristalinas de los minerales primarios (no alterados, heredados de la roca madre) y de constituyentes secundarios (minerales procedentes de la alteración edafogenética)
- Absorbidos en las fases de hidróxido de hierro, aluminio y manganeso.
- Secuestrados o ligados a los restos vegetales y animales (que son liberado a medida que se van mineralizando estos residuos).
- Incluidos en las macromoléculas orgánicas.
- En forma intercambiable (ión) asociados a la superficie de las arcillas minerales y a la materia orgánica.
- En forma soluble, coloide o particulada, en la solución del suelo.

FIGURA N° 2.6
COMPARTIMENTALIZACIÓN DE LOS METALES EN EL SUELO



Fuente: López y Grau. 2005

2.2.4 Biodisponibilidad de los metales

López y Grau (2005), definen el término biodisponibilidad como la capacidad de un elemento para pasar de un compartimento cualquiera del suelo a un ser vivo. Esta movilidad, que se define como la aptitud de transferencia de metales entre compartimentos, está determinada por la forma, el número de cargas y la energía de retención de los metales pesados (Reid, 2001) y se ve influenciada por factores externos: pH, temperatura, humedad, ambiente químico. Aunque también se puede asociar con el uso del suelo, por ejemplo, los metales en

suelos forestales son más fácilmente movilizados que en suelos agrícolas, lo que está directamente relacionado con mayor acidez del suelo y a la mayor presencia de sustancias orgánicas de bajo peso molecular (Kabata- Pendias y Pendias, 2000).

La toxicidad de un suelo debido a los metales y elementos asociados es una consecuencia directa de sus concentraciones en las fases bioasimilables, es decir, la solución del suelo y las formas adsorbidas. Se supone que existe un equilibrio entre la fase soluble y la cantidad total presente. Lindsay (1979) calcula que el 10% del total se encuentra en fase soluble. Pero en esta correspondencia intervienen numerosos factores tanto del elemento tóxico en sí, como de las características del propio suelo. Por tanto, las formas geoquímicas de los metales pesados en suelos contaminados afecta la solubilidad, lo cual influencia directamente la disponibilidad hacia las plantas (Zhang et al., 1997).

En definitiva, según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos.

TABLA N° 2.1
FORMAS QUÍMICAS DE LOS METALES EN EL SUELO Y SU DISPONIBILIDAD RELATIVA
PARA LAS PLANTAS

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

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

2.2.5 Factores del suelo que afectan la acumulación

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

- **pH**

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

En medios alcalinos pueden pasar nuevamente a la solución como hidroxicomplejos (López y Grau, 2005). Pero en general, con un aumento del pH del suelo, la solubilidad de muchos metales pesados disminuye y la

concentración de elementos traza es menor en la solución de suelos neutros y básicos que aquellos ligeramente ácidos (Kabata-Pendias y Pendias, 2000).

- **Condiciones redox**

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

- **Textura y estructura**

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

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

Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales y la reducción de su pérdida por lixiviación. Ese hecho es de vital importancia puesto que gracias a este proceso de adsorción, los cationes están disponibles para la vegetación (Pilon-Smits, 2005).

- **Materia Orgánica**

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

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

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

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

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), se define como la cantidad de cationes reversiblemente adsorbidos expresados como moles de carga positiva por unidad de peso del mineral (McBride, 1994) y está muy condicionada por la cantidad, tipo de arcilla y la materia orgánica. Cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos (Brady y Weil, 2008).

- **Carbonatos**

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

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

- **Salinidad**

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

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

2.2.6 Biorremediación de suelos

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

- **Micorrizas**

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

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

- **Bacterias**

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

- **Hongos**

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

- **Plantas**

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

2.2.7 Fitoextracción para remediación de suelos

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

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

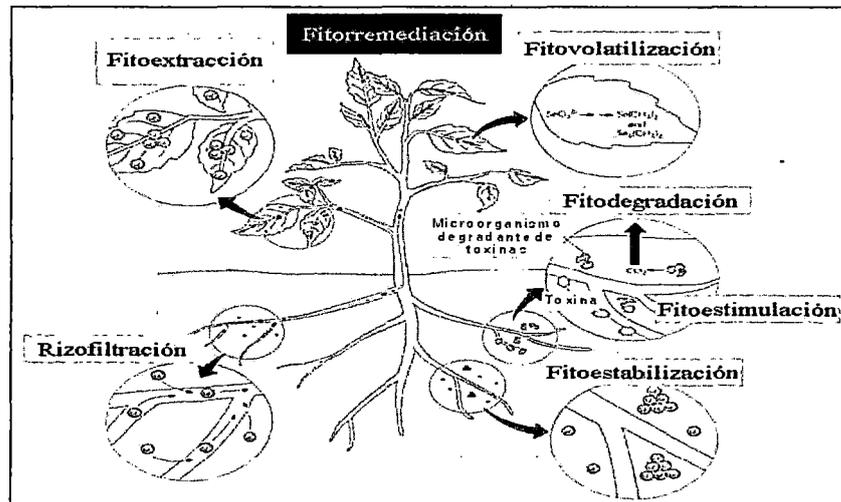
La fitovolatilización o biovolatilización es una transferencia de contaminantes desde el suelo o agua hacia la atmósfera, sirviendo las plantas de intermediario

(Cunningham, 1996). Este proceso engloba la absorción y transformación de los contaminantes hacia formas volátiles, que son finalmente emitidas a través de las raíces, tallos u hojas. Aunque esta técnica parece fundamentalmente útil para contaminantes orgánicos.

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

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

FIGURA N° 2.7
LOS DISTINTOS PROCESOS DE ACUMULACIÓN

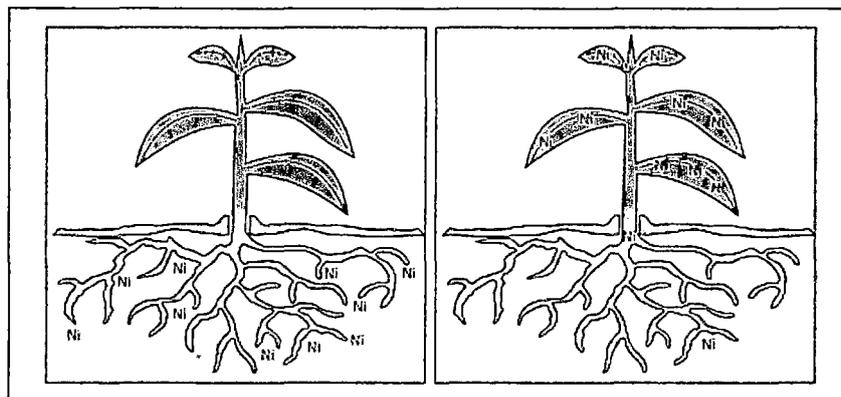


Fuente: Web: remediación de suelos. Biotecnología. 2006

Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia. Otras plantas comunes que se han ensayado con éxito como posible especies fitorremediadoras en el futuro inmediato son el girasol, la alfalfa, la mostaza, el tomate, la calabaza, el esparto, el sauce y el bambú.

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

FIGURA N° 2.8
CAPTACIÓN DE METALES POR FITOEXTRACCIÓN



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

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

2.2.7.1 Especies de plantas extractoras

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

TABLA N° 2.2
PLANTAS ACUMULADORAS DE METALES

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

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

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Plantas en ambientes contaminados por metales

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

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

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

Existe otro grupo de plantas, de un ámbito de distribución más extenso, pero que por la presión selectiva son capaces de sobrevivir en suelos metalíferos;

son las especies Pseudometalófitas (Becerril et al., 2007). Estas plantas pueden estar presentes en suelos contaminados y no contaminados en la misma región. Corresponden a variantes adaptadas (ecotipos) de especies comunes por ejemplo, *Deschampsia caespitosa*, *Holcus lanatus* y *Mimulus guttatus*.

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

2.3.2 Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados

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

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

2.3.3 Absorción y transporte de metales en las plantas

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

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

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

Mientras, los transportadores de fosfato pueden permitir la entrada de metales en muchas especies vegetales. Esta forma tiene una alta afinidad por los grupos - SH y suele ser complejada y almacenada en la vacuola, pero también puede transportarse. El transporte xilemático de los metales tiene gran importancia porque va a determinar la distribución y localización de los metales en la planta. El fosfato es un anión altamente móvil en planta, por lo que ayuda a los metales a estar movilizados.

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

a) Plantas exclusoras: aquellas que restringen la llegada del elemento en cuestión a la parte aérea, por lo que su concentración es baja. Cuando la concentración de tóxico en el medio es demasiado alta, la planta no puede excluirlo y se refleja una subida repentina de su concentración, lo que suele causar efectos drásticos sobre la planta.

b) Plantas indicadoras: la concentración de elemento en parte aérea es proporcional a la que hay en el suelo.

c) Plantas acumuladoras: aquellas que muestran una concentración elevada de elemento traza en la parte aérea, mayor que la del suelo en que viven.

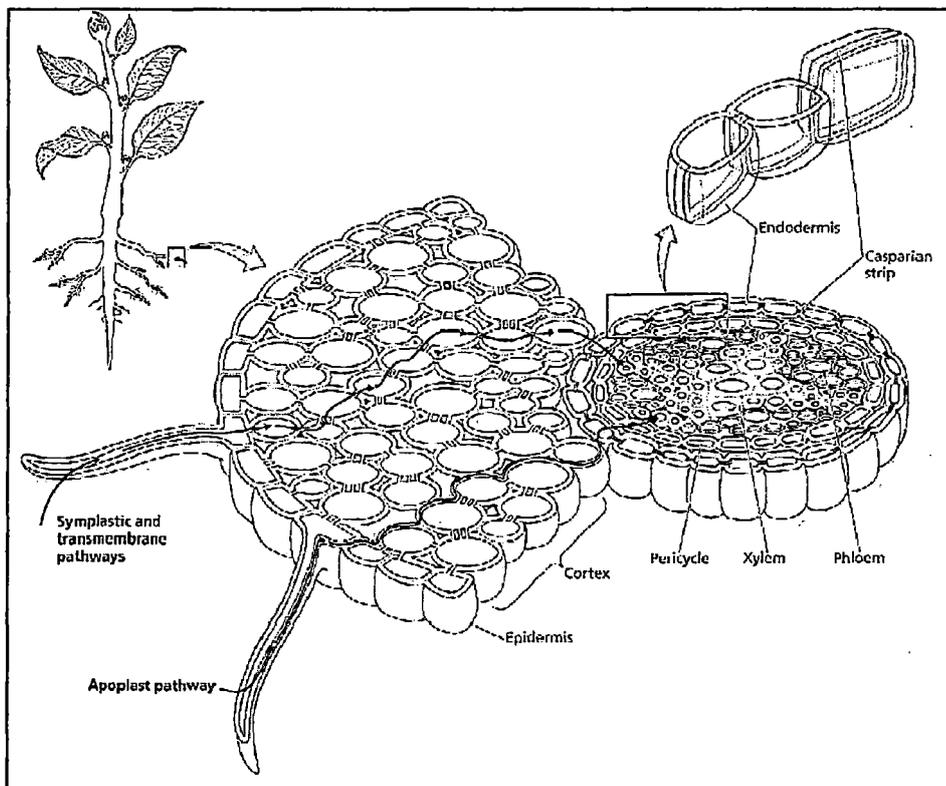
Especialmente llamativo es el caso de las especies hiperacumuladoras. Se han establecido varios criterios para definir la hiperacumulación de un elemento, pero básicamente tienen en común la concentración inusualmente alta en parte aérea de elementos traza (Becerril et al; 2007).

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

- i) Que la concentración de elemento en parte aérea sea alta, en el caso del $As > 0,1\%$
- ii) Que la concentración en parte aérea sea 10 - 500 veces mayor que la de la misma planta en ambientes no contaminados

iii) Que el ratio de las concentraciones del elemento en parte aérea y raíz sea > 1 . Recientemente se ha lanzado la hipótesis de que la acumulación de elementos traza en parte aérea podría ser un mecanismo de defensa frente a sus enemigos, especialmente herbívoros, ya que dichas plantas serían menos atractivas para su consumidor o incluso causarían su muerte (Puschenrieter, 2001).

FIGURA N° 2.9
ESTRUCTURA DE LA RAÍZ VEGETAL - VÍAS DE ABSORCIÓN



Fuente: Taiz y Ziegler, 2002.

2.3.4 Base genética a la tolerancia

El genotipo y el ambiente producen una variación en el fenotipo del organismo y la proporción de la variabilidad fenotípica total debida a los efectos genéticos

aditivos (como es el caso de la tolerancia hacia los metales pesados) se denomina herencia en sentido limitado (Bradshaw y McNeilly, 1985). La flexibilidad fenotípica es la capacidad de un genotipo para funcionar en un rango de ambientes mediante una respuesta plástica y/o estable.

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

Baker (1987) sugiere que la flora crecida en suelos contaminados de zonas de explotación minera corresponde a dos tipos de distribución: taxones crecidas en las minas y especies encontradas fuera de los afloramientos metalíferos. Algunos autores señalan que los taxones crecidos en las zonas mineras son Paleo-endémicos, que corresponden a especies que anteriormente tenían una amplia distribución y ahora están confinadas en un área en particular; mientras, otros sugieren que son neo-endémicas, especies que se han

originado en determinadas áreas en respuesta a unas condiciones ambientales particulares.

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

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

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

2.3.5 Especificidad de la tolerancia a los metales

Se ha demostrado en numerosos estudios que existe una gran diferencia en la absorción de metales de las diferentes especies de plantas, y también entre genotipos de especies (Brooks, 1998; Prasad, 1997 y Prasad y Hagemeyer, 1999). Sin embargo, a la hora de elegir las especies determinadas para un sitio, es muy importante incluir las especies que crecen a nivel local o muy cerca del sitio, las cuales son competitivas en virtud de las condiciones locales y toleran más eficientemente la toxicidad del contaminante (Baker 2004).

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

i) Tolerancia múltiple

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

ii) Tolerancia Constitucional

Se define como la no evolución de las razas tolerantes. La primera evidencia fue reportada por Antonovics (1971), posteriormente otras publicaciones sugirieron que las especies pueden diferir ampliamente sus límites de tolerancia (Wu y Antonovics, 1976). Estudios realizados por McNaughton et al. (1974), demostraron que poblaciones de *Typha latifolia* crecida en suelos contaminados y poblaciones crecidas en suelo control (no contaminados) no mostraron evidencia de una diferenciación entre poblaciones.

iii) Tolerancia Facultativa

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

2.3.6 Estrategias de tolerancia hacia los metales pesados

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

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

ii. Metal-Acumulación, en que no hay restricción y los metales son acumulados en formas no nocivas para la planta, ya sea mediante un ligamiento con células de la pared, almacenamiento de los iones al interior de la vacuola, complejación por ácidos orgánicos y posiblemente por proteínas ligadoras de metales específicos y otras propiedades como adaptaciones enzimáticas y efectos en la permeabilidad de la membrana. Las plantas con mecanismos de metal-acumulación son denominadas Acumuladoras y son las especies más comunes en los suelos contaminados.

Dentro de este grupo existen muchas especies de las familias Brassicaceae y Compositae (Tlustos et al., 2006). Las especies que presentan mecanismos altamente especializados que les permiten acumular metales en su parte aérea, hasta alcanzar concentraciones superiores a 20% (Brooks, 1998, Ginocchio, R. y Baker, A., 2004). Actualmente se utiliza el término hiperacumuladora de metales para designar plantas que acumulan más de: 100 ppm de Cd, 1000 ppm de Al, As, Co, Cu, Pb, Ni y Se y más de 10000 ppm de Zn y Mn, (Baker et al., 1994, Kabata-Pendias y Pendias, 2000, Kidd et al., 2007).

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

2.3.7 Mecanismos celulares de tolerancia

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

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

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

2.3.8 Valoración e Índices de tolerancia a los metales

Bradshaw (1952) fue uno de los primeros en valorar la falta de tolerancia de *Agrostis capillaris*, crecida en un suelo contaminado con plomo, mediante la inhibición del crecimiento radical. Posteriormente Wilkins (1957), desarrolló un índice basado en la cuantificación de los efectos inhibitorio de los iones metálicos en el crecimiento radical. De esta manera, cuanto mayor es la longitud de la raíz en la disolución que contiene el metal, mayor es el índice de tolerancia (Bradshaw y McNeill, 1985). Este método de valoración ha sido usado ampliamente y modificado.

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

i) Índice de Bioconcentración (BF)

Este índice puede encontrarse en la bibliografía también citado como Coeficiente de absorción biológica (BAC), Coeficiente de Transferencia (TC) o Factor de concentración (Cf). Se define como la relación de la concentración del metal en la planta con respecto a la concentración total del metal en el suelo (Figliolia et al., 2002 y Perez-Sirvent, 2008).

Este índice es ampliamente usado para comparar la eficiencia de diferentes plantas (Kabata-Pendias y Pendias 2000).

ii) Shoot accumulation factor (SAF)

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

Si este índice es menor a uno, también podría ser aceptable, por ejemplo, cuando se hace compactación antes de transportar los desechos de la planta

fuera del sitio para reducir el volumen del material vegetal a extraer y por lo tanto, aumenta la concentración de los contaminantes en el proceso final de la fitoextracción (Sas-Nowosielska et al., 2004).

iii) Factor de Transferencia (FT)

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

2.4 Efectos de los metales en los seres vivos

Todos los seres vivos pueden resultar seriamente afectados por la contaminación de metales pesados. Una creciente concentración de estos elementos en la cadena alimenticia puede provocar daños en la salud (cancerígenos o mutagénicos), aunque se sabe poco de su efecto crónico por consumo de pequeñas dosis durante largos periodos (Birley et al, 1999). Según Hall (2002), la toxicidad causada por los metales pesados puede resultar de la unión de los metales con los grupos sulfhidrilo de las proteínas, ocasionando una disminución de la actividad, disrupción de la estructura o el desplazamiento de elementos esenciales ocasionando deficiencias. Además, una alta concentración de metales puede estimular la formación de radicales libres y especies oxígeno reactivas provocando un estrés oxidativo.

En plantas, los síntomas de fitotoxicidad más comunes son lesiones no específicas que varían según la especie y el metal. (Williamson et al, 1982)

señala que las lesiones más importantes son la disminución del crecimiento, clorosis y menor desarrollo radicular. Sin embargo, Kabata - Pendias y Pendias (2000), señalan que los contaminantes también pueden estar almacenados como compuestos inactivos en células y en la membrana, lo cual puede afectar la composición química de la planta sin causar una lesión.

TABLA N° 2.3
CONCENTRACIÓN DE METALES QUE SE CONSIDERAN EXCESIVOS (mg/kg)

Metal	1	2	3	4
Cr	100	800	100-1000
Co	20	300	-----	-----
Ni	50	500	30-300	75
Cu	50	500	50-1000	140
Zn	200	3000	150-2500	300
As	20	50	-----	-----
Cd	1	20	1-20	3
Pb	50	600	50-750	300
Sn	20	300	-----	-----
Ba	200	2000	-----	-----
Hg	0,5	10	1-16	1,5

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

- 1: Nivel indicativo por encima del cual hay contaminación demostrable.
- 2: Nivel Superado este valor el suelo ha de ser saneado.
- 3: Límite de concentración para poder añadir lodos en suelos
- 4: Máximo aceptable en suelos agrícolas (CE, 1986)

2.4.1 Toxicidad de arsénico, cadmio, plomo y zinc

2.4.1.1 Efectos del arsénico en la salud humana

El arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados, en el suelo se encuentra en formas móviles en rango de pH 6 a 9.

El arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. La toma de significantes cantidades de arsénico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, de piel, pulmón, hígado.

El arsénico es un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, el arsénico se ha movilizado y se puede encontrar en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural.

Las plantas absorben arsénico bastante fácil, así que altas concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso arsénico que está actualmente presente en los suelos aumentan las posibilidades de alterar el material edafológico.

2.4.1.2 Efectos del cadmio en la salud humana

El cadmio es uno de los metales más solubles del suelo y peligrosos, debido a

su alta movilidad. Es soluble en estados oxidados y tiene propiedades parecidas a las del zinc, con el cual se encuentra asociado en diversos minerales.

Las fuentes de contaminación con cadmio son: extracción minera de cadmio y zinc, procesamiento de metales, aplicación de fertilizantes fosforados. Estas fuentes liberan cadmio que es asimilado por las plantas y animales y así entra en los alimentos.

El cadmio tiene una vida media, de unos 15 años. La mayor parte se deposita en el hígado y en los riñones, y se elimina esencialmente por la vía renal.

La ingesta oral ocasiona náuseas, vómitos, diarreas, y dolores abdominales. La absorción por vía respiratoria puede producir desde un cuadro de hipertermia, ("fiebre de los metales") hasta una neumonitis química y un edema agudo de pulmón, que incluso puede ser mortal. Las concentraciones máximas permisibles de cadmio son de 5 ug/L en la sangre y de 5 ug/g de creatinina en orina.

2.4.1.3 Efectos del plomo en la salud humana

En el suelo, condiciones alcalinas el plomo precipita como hidróxido, fosfato o carbonato, y también se promueve la formación de complejos orgánicos estables de plomo. La acidez creciente del suelo aumenta la solubilidad del plomo, pero su movilización generalmente es lenta que su acumulación en las capas de suelo ricas en materia orgánica.

La localización característica del plomo cerca de la superficie del suelo, se relaciona principalmente con la acumulación superficial de materia orgánica. Este metal se comporta en el organismo como el calcio y se acumula en los huesos. Los depósitos de mineral de plomo presentes en la galena (PbS), se utilizan como fuentes para obtener este elemento.

Los compuestos inorgánicos de plomo pueden ocasionar alteraciones: digestivas, hematológicas, neurológicas, renales, endocrinas y del sistema reproductor.

- Las alteraciones digestivas se pueden manifestar en forma de un cuadro abdominal agudo ("cólico seco"), con dolores intensos y difusos, vómitos y constipación.
- El plomo puede afectar al sistema nervioso central en forma de cefaleas, insomnio, alteraciones del carácter y de la memoria. También se ha relacionado la exposición al plomo con disminución del rendimiento escolar en niños. Las mujeres expuestas al plomo presentan una mayor incidencia de esterilidad y abortos espontáneos.

La dosis mortal de plomo aparece si se absorbe más de 0,5 mg por día.

2.4.1.4 Efectos del zinc en la salud humana

El zinc es un metal esencial a las plantas, participa en varios procesos metabólicos. La adsorción y desorción en el suelo se vinculan a los coloides orgánicos e inorgánicos. Existen mecanismos de adsorción, uno en medio ácido relacionado con los sitios de intercambio catiónico, y otro, en medio

alcalino asociado con la quimisorción es influenciada por ligandos orgánicos. El ingreso predominante es como zinc hidratado y Zn^{+2} . La cantidad de zinc es liberada al ambiente por procesos naturales, pero la mayor parte proviene de actividades humanas tales como la minería, producción de acero, combustión de petróleo e incineración de desperdicios.

La ingestión de grandes cantidades aun brevemente puede causar calambres estomacales, náusea y vómitos. Los niveles de zinc que producen efectos a la salud son generalmente mucho mayores que los recomendados para una dieta normal, para el zinc es de 15 mg/día (para hombres) y 12 mg/día (para mujeres). Si se ingieren dosis grandes de zinc (de 10 a 15 veces mayor a lo recomendado), aún por corto tiempo, pueden ocurrir problemas estomacales y digestivos. Demasiado zinc puede también interferir con el sistema inmune del cuerpo y con la habilidad del cuerpo para asimilar y usar otros minerales esenciales como el cobre y el hierro.

2.5 Legislación en materia de suelos contaminados

Debido al primer caso de contaminación de suelos en la población de Love Canal en 1978, el gobierno de los EEUU desarrolló la primera ley de suelos contaminados en 1980: "CERCLA 1980" (Ley de Respuesta Ambiental Exhaustiva, Compensación y Responsabilidad Pública)" encargada de la limpieza de vertederos de desechos peligrosos.

En Europa, sale a la luz pública el primer caso de contaminación de suelos en 1980, en Lekkerkerk (Holanda). Un vertedero de residuos químicos originó en la población la presencia de hidrocarburos aromáticos en sangre.

El gobierno aprobó en 1983 la Ley holandesa de suelos contaminados: "Soil Clean-up Act 1983".

En el Perú, la reciente aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental Suelo – ECA Suelo, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, el 25 de marzo del año en curso, responde a una necesidad imperiosa de contar con instrumentos que permitan verificar el cumplimiento de las obligaciones ambientales en todos los proyectos y actividades que se desarrollen en el país, que generen o puedan generar riesgos de contaminación de suelo.

En ese sentido, el ECA Suelo es una medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos; que es necesaria ya que permite cubrir un vacío en la normativa ambiental y promoverá acciones de prevención y remediación ambiental en varios lugares del país que tienen suelos contaminados o con pasivos ambientales como hidrocarburos o minería, que afectan actualmente la salud y el desarrollo de actividades económicas competitivas y sostenibles.

De acuerdo con la norma, los ECA Suelos son de obligatorio referente en el proceso de diseño de los diversos instrumentos de gestión ambiental y también para el caso de nuevos proyectos, para aquellos proyectos en curso, deberán adecuarse en un plazo no mayor a 12 meses, es decir antes del 25 de marzo del 2014.

En este contexto aquella personas naturales o jurídicas que incumplan las obligaciones establecida en dicho estándar aprobado con el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, son posibles de sanción administrativa por parte de la entidad de fiscalización ejercida en gran parte por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA.

TABLA N° 2.4

NORMATIVIDAD PERUANA - ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUELO

N°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/Industrial / Extractivos	
I	Orgánicos				
	Beceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B
	Tolueno (mg/kg MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B
	Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B
	Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B
	Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
	Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
	Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/kg MS)	1 200	1 200	5 000	EPA 8015-M
	Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS)	3 000	3 000	6 000	EPA 8015-D
	Benzo (a) pireno (mg/kg MS)	0,1	0,7	0,7	EPA 8270-D
	Bifenilos policlorados –PCB (mg/kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D
	Aldrin (mg/kg MS)	2	4	10	EPA 8270-D
	Endrin (mg/kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
	DDT (mg/kg MS)	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
	Heptacloro (mg/kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
II	Inorgánicos				
	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
	Arsénico total (mg/kg MS)	50	50	140	EPA 3050-B
	Bario total (mg/kg MS)	750	500	2 000	EPA 3050-B
	Cádmio total (mg/kg MS)	1,4	10	22	EPA 3050-B
	Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
	Mercurio total (mg/kg MS)	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
	Plomo total (mg/kg MS)	70	140	1 200	EPA 3050-B

Fuente: www.minam.gob.pe/eca para suelos

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 2mm. 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.

2.6 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

CONTAMINANTES:

Cualquier sustancia química cuya concentración excede la del nivel de fondo o que no se encuentra naturalmente en el suelo.

DEGRADACIÓN DEL SUELO:

Es la pérdida parcial o total de la productividad del suelo, como consecuencia de procesos como la erosión, la desertificación, la salinidad o la contaminación.

EDAFOLOGÍA:

Ciencia que estudia el suelo desde el punto de vista de su origen, constitución.

EROSIÓN:

Pérdida gradual del suelo, debido a la acción de agentes como el agua, el viento, la temperatura y las actividades biológicas y humanas.

ESPECIACIÓN:

Se denomina al proceso mediante el cual una población de una determinada especie da lugar a otra u otras poblaciones, aisladas reproductivamente entre sí y con respecto a la población original.

ESTRUCTURA:

Es una propiedad del suelo, determinada por la forma en que se asocian las partículas elementales del suelo, arena, limo y arcilla, para formar agregados.

FENOTIPO:

Es cualquier característica o rasgo observable de un organismo, como su morfología, desarrollo, propiedades bioquímicas, fisiología y comportamiento.

GENOTIPO:

Se refiere a la información genética que posee un organismo en particular, en forma de ADN.

HUMUS:

Sustancia compuesta por productos orgánicos, de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos (hongos y bacterias).

LIXIVIACIÓN:

Es un proceso físico de transferencia de materia que ocurre cuando un solvente líquido atraviesa un sólido.

PARÁMETRO:

Cualquier elemento o sustancia química del suelo que define su calidad y que se encuentra regulado por un Decreto Supremo.

PERMEABILIDAD:

Es una propiedad del suelo, asociada a la porosidad. Es la facilidad que tiene el suelo para dejarse penetrar por los fluidos.

POROSIDAD:

Es una propiedad del suelo, determinada como consecuencia de la textura y estructura del suelo, es decir su sistema de espacios vacíos o poros.

SITIO CONTAMINADO:

Aquel cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones que exceden los límites permitidos.

SUELO:

Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

TAXONES:

Unidad sistemática que designa un nivel jerárquico en la clasificación de los seres vivos, como la especie, el género, la familia, el orden y la clase.

TEXTURA:

Es una propiedad del suelo, determinada por la proporción en la que se encuentran las partículas elementales de varias dimensiones que lo conforman.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Definición de las variables

- **Variable dependiente (Y)** = Grado de contaminación por elementos metálicos en los suelos de Villa de Pasco

Definición conceptual:

El grado de contaminación indica si una determinada cantidad de metales, está dentro de lo que las normas regulatorias nacionales o internacionales permiten para un determinado uso

- **Variable independiente**

X₁: capacidad de absorción del *Sonchus oleraceus* (especie A)

X₂: capacidad de absorción del *Lepidium bipinnatifidum* (especie B)

X₃: capacidad de absorción del *Plantago orbignyana* (especie C)

X₄: capacidad de absorción del *Bidens triplinervia* (especie D)

Definición conceptual:

La absorción de metales por las especies de plantas es debido a que las especies han desarrollado mecanismos biológicos que les permiten acumular metales en sus hojas y sobrevivir en suelos ricos en metales.

3.2 Operacionalización de variables

3.2.1 Operacionalización

Para demostrar y comprobar la Hipótesis anteriormente formulada, la operacionalizamos, determinando las variables y los indicadores que a continuación se indican:

Variable dependiente

Y: Grado de contaminación por elementos metálicos en los suelos de Villa de Pasco

- **Dimensión:** Elementos metálicos

- **Indicadores:**
 - Concentración de arsénico, cadmio, plomo y zinc en los suelos de Villa de Pasco.

- **Ítems:**
 - ¿Cuál es la concentración del arsénico?
 - ¿Cuál es la concentración del cadmio?
 - ¿Cuál es la concentración del plomo?
 - ¿Cuál es la concentración del zinc?

Variable independiente

X₁: capacidad de absorción del *Sonchus oleraceus* (especie A)

X₂: capacidad de absorción del *Lepidium bipinnatifidum* (especie B)

X₃: capacidad de absorción del *Plantago orbignyana* (especie C)

X₄: capacidad de absorción del *Bidens triplinervia* (especie D)

- **Dimensión:** Índices de tolerancia a los metales
- **Indicadores:**
 - Índice de Bioconcentración de las especies A, B, C y D
 - Factor de Remediación de las especies A, B, C, y D
- **Ítems:**
 - ¿Cuál es el índice de la bioconcentración y el factor de remediación de la especie A?
 - ¿Cuál es el índice de la bioconcentración y el factor de remediación de la especie B?
 - ¿Cuál es el índice de la bioconcentración y el factor de remediación de la especie C?
 - ¿Cuál es el índice de la bioconcentración y el factor de remediación de la especie D?

3.3 Hipótesis general e hipótesis específica

3.3.1 Hipótesis General

Los suelos de Villa de Pasco que están contaminados por elementos metálicos producidos por la actividad mineras son remediados por las especies fitoextractoras *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y el *Bidens triplinervia* (especie D), las cuales son más eficaces para la absorción de los metales As, Cd, Pb y Zn y tienen índices aceptables de tolerancia a los metales, durante los meses de enero a julio del 2012.

3.3.2 Hipótesis Específicos

1. En la remediación de los suelos de Villa de Pasco, el *Sonchus oleraceus* (especie A), es más eficaz para absorber el arsénico, el *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), es más eficaz para absorber cadmio, el *Plantago orbignyana* (especie C), es más eficaz para absorber plomo, el *Bidens triplinervia* (especie D), es más eficaz para absorber zinc, de los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012 .
2. En la remediación de los suelos de Villa de Pasco, las especies A, B, C y D tienen un Índice de Bioconcentración mayor que la unidad, durante los meses de enero a julio del 2012.
3. En la remediación de los suelos de Villa de Pasco, las especies A, B, C y D tienen el Factor de remediación mayor que la unidad, durante los meses de enero a julio del 2012.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo: aplicada, de campo, experimental y cuantitativa, ya que se utiliza los conocimientos de la fitoextracción en la práctica para resolver un problema que está causando a un determinado sector productivo que es la actividad agrícola, los datos se tomaron in situ y los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio para determinar las concentraciones de los metales tóxicos que existen en los suelos y en las hojas de las especies A,B,C y D, para luego determinar el índice de bioconcentración y el factor de remediación.

4.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la presente investigación obedecerá a un modelo experimental - longitudinal. *“Los diseños de investigación longitudinal recolectan datos a través del tiempo”* (Hernández, R., 2003).

Para la presente investigación, se ha seguido los siguientes procedimientos:

- Determinación de población y muestra
- Unidad de análisis
- Obtención de muestras
- Estaciones de muestreo
- Tratamiento de muestras de suelos y plantas
- Análisis químico
- Tratamiento estadístico y análisis de datos

4.3 Población y muestra

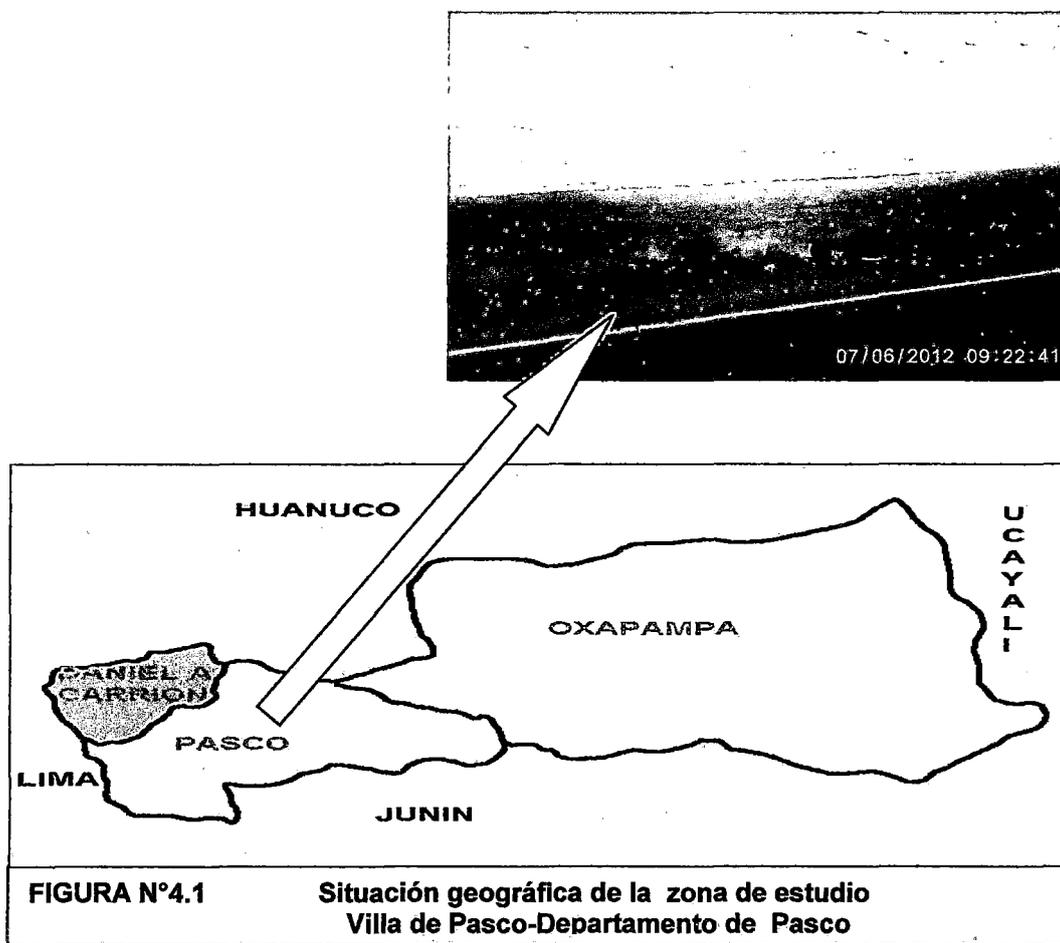
Población: Terreno de Villa de Pasco

Muestra: Zona agrícola afectada por la actividad minera

Muestreo: Probabilístico, aleatorio

Unidad de análisis: 4 especies de plantas A, B, C y D

- Situación geográfica de la zona agrícola afectada por la actividad minera.



- Las especies de plantas



4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.4.1 Obtención de muestras

Se tomaron muestras de las especies de plantas (hojas) y suelos en las seis estaciones.

Se recolectó aproximadamente 1kg de muestra de suelo, del mismo lugar en donde fueron recolectadas las plantas (E1- E6) a una profundidad de 0-20cm.

Se recogieron 06 plantas de cada especie en un área de 0,65 m² en promedio por estación.

Se eligió el muestreo según criterios expuestos por Bech et al., (2002), entre los que se considera: cobertura vegetal, color del suelo y textura, síntomas de fitotoxicidad, distancia de la mina y dirección predominante del viento.

Para el análisis se han elegido las plantas basándose en los siguientes criterios:

- 1) alta cantidad de biomasa
- 2) distribución amplia en la zona
- 3) no presentan síntomas de fitotoxicidad, características esenciales para su uso en fitorremediación.

Se recolectaron 04 especies de plantas, pertenecientes a 3 familias bótanicas: Asteraceae, Brassicaceae y Plantaginaceae.

**TABLA N° 4.1
ESPECIES DE PLANTAS**

FAMILIA	N° DE ESPECIES	ESPECIES
Asteraceae	02	Sonchus oleraceus (A) Bidens triplinervia (D)
Brassicaceae	01	Lepidium bipinnatifidum (B)
Plantaginaceae	01	Plantago orbignyana (C)

i) *Sonchus oleraceus*



Fig. 4.3 **ESPECIE A**

Sonchus oleraceus	Familia Asteraceae
----------------------	-----------------------

Esta especie corresponde a la familia de las Asteraceas, se puede encontrar en un amplio rango de hábitats, por ejemplo en suelos húmedos, suelos cultivados. Está presente en suelos a partir de los 2000 a 3300 msnm.

ii) *Lepidium bipinnatifidum*



Fig. 4.4 **ESPECIE B**

Lepidium bipinnatifidum	Familia Brassicaceae
----------------------------	-------------------------

Pertenece a la familia Brassicaceae, ésta especie se encuentra con frecuencia en áreas alteradas por la actividad del hombre, en bordes de caminos en arbustos o pastizales que crecen sobre las laderas rocosas, hasta sobre los 4500 msnm.

iii) *Plantago orbignyana*



Fig. 4.5 **ESPECIE C**

Plantago orbignyana	Familia Plantaginaceae
------------------------	---------------------------

Esta especie pertenece a la familia Plantaginaceae, se ha encontrado en los Andes de Perú, Bolivia y en el Noroeste argentino, a una altura entre 3000 - 4500msnm.

Esta especie ha sido usada desde tiempos ancestrales como una planta de tipo medicinal.

iv) *Bidens triplinervia*



Fig. 4.6 **ESPECIE D**

Bidens triplinervia	Familia Asteraceae
------------------------	-----------------------

Esta especie pertenece a la familia de las Asteráceas.

Es una especie de altas montañas que frecuentemente se encuentra entre los 3000 y 4000 msnm. Está distribuida en América del Sur, y en toda América Central.

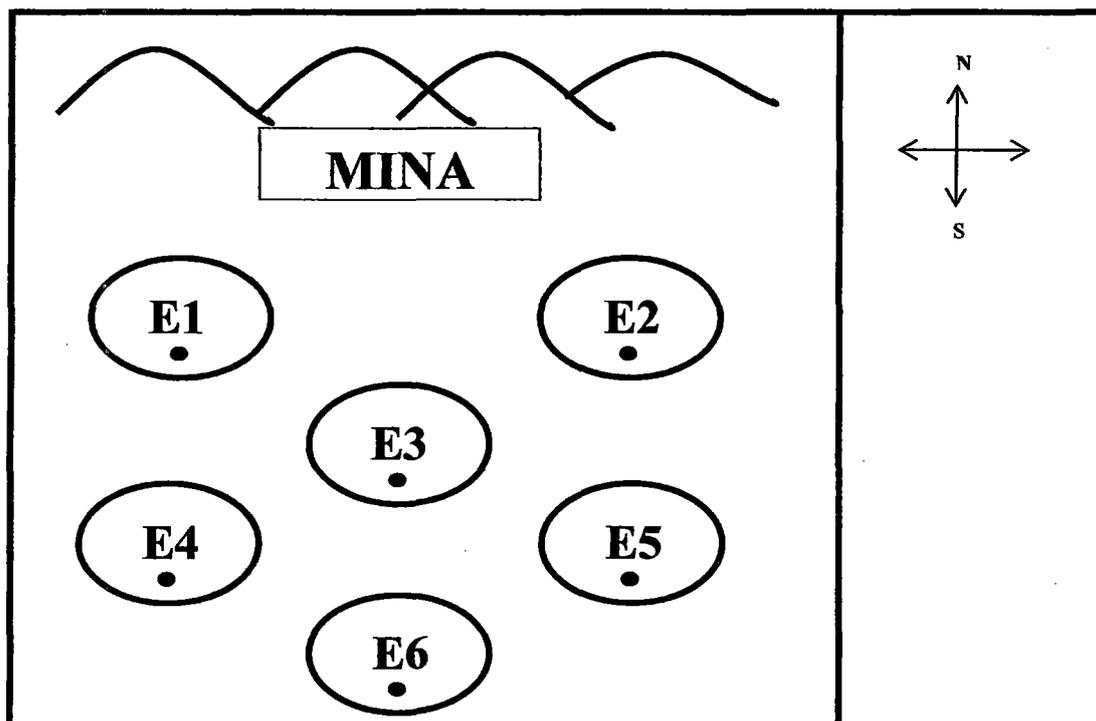
4.4.2 Estaciones de muestreo

**TABLA N° 4.2
ESTACIONES DE MUESTREO**

Especie	Familia	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Sonchus oleraceus (A)	Asteraceae	X	X	X	X	X	X
Lepidium bipinnatifidum (B)	Brassicaceae	X	X	X	X	X	X
Plantago orbignyana (C)	Plantaginaceae	X	X	X	X	X	X
Bidens triplinervia (D)	Asteraceae	X	X	X	X	X	X

- Se instalaron 06 estaciones: 2 en el margen derecho, 2 en el margen izquierdo y 2 en el centro.

**FIGURA N° 4.7
ESTACIONES DE MUESTREO**





4.4.3 Técnica utilizada en el desarrollo experimental

4.4.3.1 Determinación de las características de los suelos

a) Determinación de textura por sedimentación

La sedimentación de sólidos en líquidos esta gobernada por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan mas fácilmente cuando mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuando menor es la viscosidad del líquido. Por ello, cuando se quiere favorecer la sedimentación se trata de aumentar el diámetro de las partículas, haciendo que se agreguen unas a otras, proceso denominado coagulación y floculación.

La sedimentación se refiere al proceso de precipitación de pequeñas partículas sólidas inmersas en un fluido de densidad ρ por acción de la gravedad. Tales mezclas (parte sólida y fluido) se conocen como suspensiones.

Procedimiento

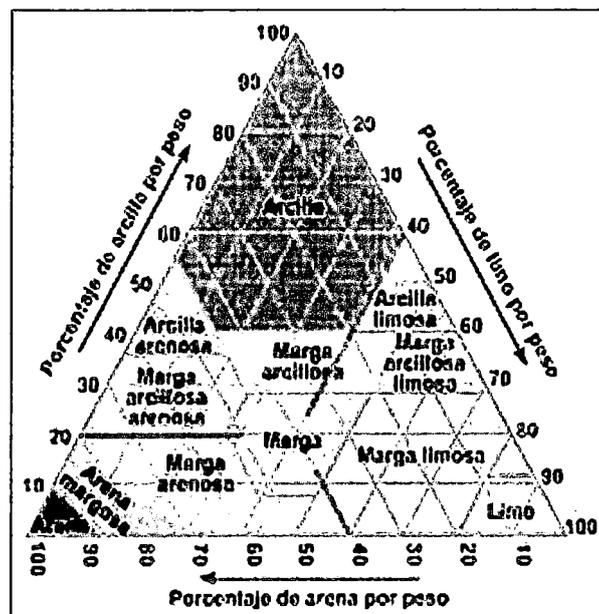
Se pesó 150grs. de suelo, mezclando con 100ml. de agua luego se calentó, se añadió 50ml. de peróxido de hidrógeno, calentándose hasta quemar la materia orgánica por 5 minutos.

Se retiró la mezcla, luego se agregó la mezcla a la probeta, adicionando agua hasta alcanzar 450ml. Se esperó la sedimentación por una hora y luego se midió la distribución de:

- a) Arena
- b) Limo
- c) Arcilla

Con el triángulo de textura se determinó el tipo de suelo.

FIGURA N° 4.9
TRIÁNGULO DE TEXTURA



4.4.3.2 Análisis químico de materia orgánica

Materia Orgánica

El porcentaje de materia orgánica total en el suelo se determinó por el método de Walkley y Black. La materia orgánica del suelo proviene de la raíces, residuos de plantas y organismos vivos o muertos del suelo, residuos de las cosechas así como de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene: lombrices, insectos de todo tipo, microorganismos. Además esta constituida por varias sustancias como las proteínas, ceras, ligninas, grasas. Tiene un impacto grande sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, tales como las siguientes:

- a) Velocidad de infiltración del agua en el suelo.
- b) Estructura del suelo.
- c) Aireación de las raíces.
- d) Humedad aprovechable.
- e) Microorganismos en el suelo.
- f) Capacidad de fijación de nutrientes.

Este procedimiento es por vía humedad, en el cual la materia orgánica del suelo se digesta con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 .

El calor externo liberado por la reacción, al diluirse el H_2SO_4 , ayuda al proceso de oxidación. El exceso de $K_2Cr_2O_7$ sin reducir es determinado por valoración con sulfato ferroso amónico $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$.

La cantidad de carbono oxidado se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido, de este dato se deduce la materia orgánica oxidable.

Procedimiento

Se pesó 1 g de muestra de suelo seco, triturado y tamizado a 250 μm , se depositaron en un erlenmeyer de 125 ml. Luego se añadió 10ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ y 20 ml de H_2SO_4 y se dejó reposar por 30'.

Posteriormente se añadió 200 ml de agua destilada, 10 ml de H_3PO_4 y 5 gotas de difenilamina. Finalmente se valoró con sal de Mohr, 0.5 N, midiendo el punto de equivalencia que se indica por el viraje de difenilamina (indicador redox) expresado en el punto exacto del cambio de color de un marrón rojizo a verde azulado intenso. Se realizaron dos medidas de cada muestra.

Es importante preparar el blanco, el cual va a servir para calcular la cantidad de materia orgánica total del suelo.

Cálculo

El contenido de materia orgánica expresado en porcentaje de muestra seca, se calcula mediante la fórmula:

$$\% \text{M.O} = \text{ml de FeSO}_4 (\text{blanco} - \text{muestra}) \times F$$

$$F = \frac{(1\text{N}) \cdot (12) \cdot (1,71) \cdot (100)}{4000 \times 0,77 \times \text{g de suelo}} = 0,67$$

**TABLA N° 4.3
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA**

Clase	Carbono orgánico %
Muy alta	>20
Alta	10 – 20
Media	4 -10
Baja	2 - 4
Muy baja	<2

Fuente: Landon, J. R. 1984. Manual de suelos tropicales.

**TABLA N° 4.4
CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA**

Clase	Materia orgánica (%)
Extremadamente pobre	< 0.6
Pobre	0.6 – 1.2
Medianamente pobre	1.21 – 1.8
Medio	1.81 – 2.4
Medianamente rico	2.41 – 3.0
Rico	3.1 – 4.2
Extremadamente rico	>4.21

Fuente: Velazco M.H, 1983. Guía para interpretar el análisis químico del suelo.

4.4.3.3 pH

El pH es una valoración de la cantidad de [H⁺] en la disolución que se forma al poner una determinada cantidad de agua destilada en contacto con una cantidad de suelo. Mide en escala logarítmica y representa el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno en disolución, expresado en moles/L.

($\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$)

Procedimiento

Se añadió 25 ml de agua destilada en (relación suelo: agua 1:5), se removió durante 5 minutos y se dejó reposar por 30 minutos. Se agitó nuevamente durante 1 minuto y luego se introduce el electrodo para obtener la lectura (norma ISO 10390). Se realizaron dos medidas de cada muestra.

**TABLA N° 4.5
CLASIFICACIÓN DEL pH DE SUELOS**

Rango de pH	Clasificación
<4.60 Extremadamente ácido	Extremadamente ácido
4.60 – 5.19	Muy fuertemente ácido
5.20 – 5.59	Fuertemente ácido
5.60 – 6.19	Medianamente ácido
6.20 – 6.59	Ligeramente ácido
6.60 – 6.79	Muy ligeramente ácido
6.80 – 7.19	Neutro
7.20 – 7.39	Muy ligeramente alcalino
7.40 – 7.79	Ligeramente alcalino
7.80 – 8.39	Medianamente alcalino
8.40 – 8.79	Fuertemente alcalino
>9.40	Extremadamente alcalino

Fuente: Cano Garcia Adan. Manual de prácticas de la materia de edafología. México. 2006.

4.4.3.4 Conductividad eléctrica (CE)

Indica la salinidad y concentración de elementos en la solución del suelo, se valoró en una relación suelo agua de 1:5.

Procedimiento

Se pesó 20 g de suelo y se introdujo en una botella de agitación, se le agregó 100 ml de agua destilada y se agitó durante 30 minutos, posteriormente se

filtró con un embudo y papel filtro. Luego se extrajo una alícuota y se dispuso en un vaso para su medición con un conductímetro, el resultado se expresa en (dS/m).

4.4.3.5 Tratamiento de muestras de suelo

Las muestras de suelos fueron tratadas como se señala en el ISO 11465.

Se ha extraído muestras de suelo aproximadamente 1kg por estación, del mismo lugar en donde fueron recolectadas las plantas (E1-E6) a una profundidad de 0-20cm.

Las muestras de suelo fueron secadas en bandejas de papel en condiciones ambientales en el interior del laboratorio, posteriormente fueron tamizadas en tamices de plástico a 2 mm, luego llevadas a un secado de 105°C, hasta un peso constante.

**TABLA N° 4.6
TRATAMIENTO DE MUESTRAS**

ISO11465	
Muestra de análisis	Muestra seca al aire
P retratamiento	Eliminar materiales > 2mm
Tamaño de la muestra	10 -15g
Temperatura de secado	105 °C
Tiempo de secado	Hasta peso constante

Fuente: Aurrecochea Jn.aK J.L. Guía Metodológica de suelos. 2004

4.4.3.6 Tratamiento de las hojas de las especies

Cada planta fue lavada cuidadosamente procurando no producir daños en sus estructuras.

Luego se depositaron en bandejas con agua para eliminar los restos de tierra.

Posteriormente se lavaron con agua corriente limpiando suavemente con un pincel evitando dañar las hojas y se enjuagaron dos veces con agua destilada.

Una vez limpias se secaron colgadas en cuerdas y fueron identificadas.

Al cabo de una semana, las plantas se separaron en raíz y hojas, se colocaron entre hojas de papel de filtro debidamente identificadas de acuerdo a su especie y procedencia. Este paso se repitió 3 veces para eliminar el exceso de humedad. Posteriormente se sometieron a calcinación y posterior digestión con ácido clorhídrico según el método de Ritter et al. (1998).



Fig. 4.10: Preparación de muestras



Fig.4.11: Calcinación de las muestras

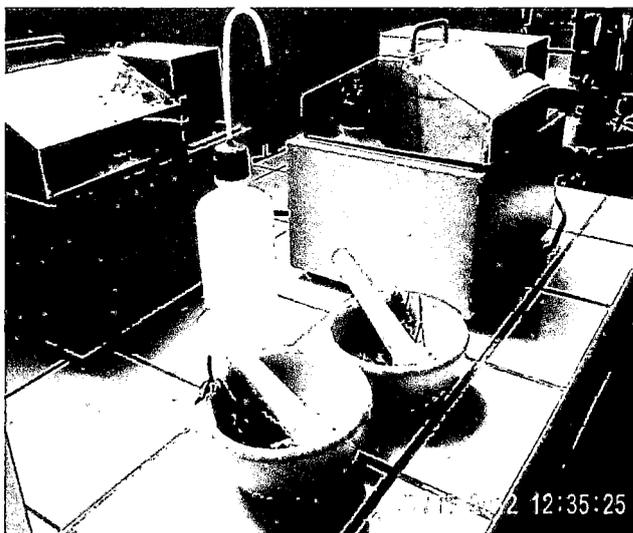


Fig. 4.12 Análisis de las muestras

4.4.3.7 Análisis químicos de suelos y hojas

Los análisis de los metales en suelos y hojas, fueron analizados por Espectroscopía de emisión por plasma de acoplamiento inductivo ICP-OES (equipo PE Optima 3000 DV). El contenido total de metales fue expresado en peso del elemento por peso de suelo ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Se analizó el contenido de As, Cu, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn.

Las muestras de suelos fueron tratadas previamente siguiendo la Test Method for Evaluating Solid Waste - NEN 5768., la cual consiste en realizar la digestión de una alícuota de la muestra con HNO_3 1:1 y HCl 1:4 y seguir con los métodos que se mencionan en la siguiente tabla 4.7

**TABLA N° 4.7
MÉTODOS PARA DETERMINAR METALES**

ANÁLISIS	MÉTODO UTILIZADO
Cadmio	NEM – 5762
Plomo	NEN – 5761
Zinc	NEN – 5759
Arsénico	NEM – 5760
Cobre	NEM – 5758
Cromo	NEN – 5763
Fierro	NEN – 5739
Niquel	NEM – 5765
Preparación de metales – digestión	NEM – 5768

Fuente: Aurrecochea Jn.aK.J.L. Guía Metodológica de suelos. 2004

4.5 Procedimientos de recolección de datos

La presente investigación se realizó con el propósito de determinar las especies fitoextractoras más eficaces para remediar los suelos contaminados por arsénico, cadmio, plomo y zinc en Villa de Pasco, donde los niveles de concentración de estos metales sobrepasan los límites máximos permitidos.

Para la obtención de muestras primeramente se realizó el reconocimiento del área en estudio, pues permitió tener una visión real de la zona, luego se ubicaron las estaciones de muestreo distribuidas: 2 en el margen derecho, 2 en el margen izquierdo y 2 en el centro, se recolectaron plantas de las cuatro especies para ser analizados en el laboratorio.

Para el análisis de las hojas se utilizó el método de Ritter et al. Luego se analizó arsénico, cadmio, plomo y zinc por ICP. Los datos obtenidos fueron tratados utilizando el SPSS 15. Con los resultados obtenidos de las concentraciones de los metales en las hojas de las especies y en los suelos, se determinó el índice de bioconcentración de las especies que sirvió para evaluar la eficiencia de las especies y luego se determinó el factor de remediación de las especies A,B,C y D, que nos indica que los suelos están descontaminados si los valores determinados son mayores que la unidad, por lo tanto, se da por cumplido la remediación, luego se elaboró las recomendaciones para las próximas investigaciones.

4.6 Procedimientos estadísticos y análisis de datos

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron las correlaciones entre la concentración de elementos metálicos en suelo y su concentración en la parte aérea de las especies, haciendo uso de la estadística descriptiva, Gráficos de probabilidad normal, usando SPSS 15.

V. RESULTADOS

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

TABLA N° 5.1.1
CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DE LOS SUELOS

Parámetros	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Arena (%)	31,82	33,45	30,45	32,15	34,12	32,18
Limo (%)	47,32	46,32	45,23	43,43	42,46	46,87
Arcilla (%)	20,86	20,23	24,32	24,42	23,42	20,95
pH	5,25	5,41	5,80	5,79	6,03	6,26
C.E(dS/m)	0,64	0,71	0,48	0,77	0,59	0,39
Materia Orgánica (%)	3,12	2,75	2,48	3,04	2,63	2,82

FIGURA N° 5.1.1
pH EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO

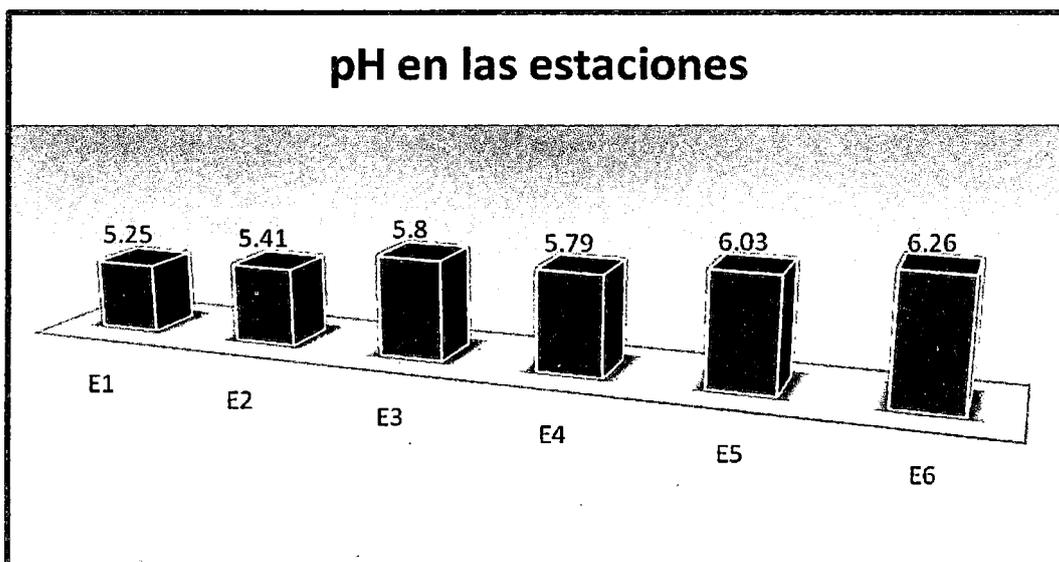


FIGURA N° 5.1.2
PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO

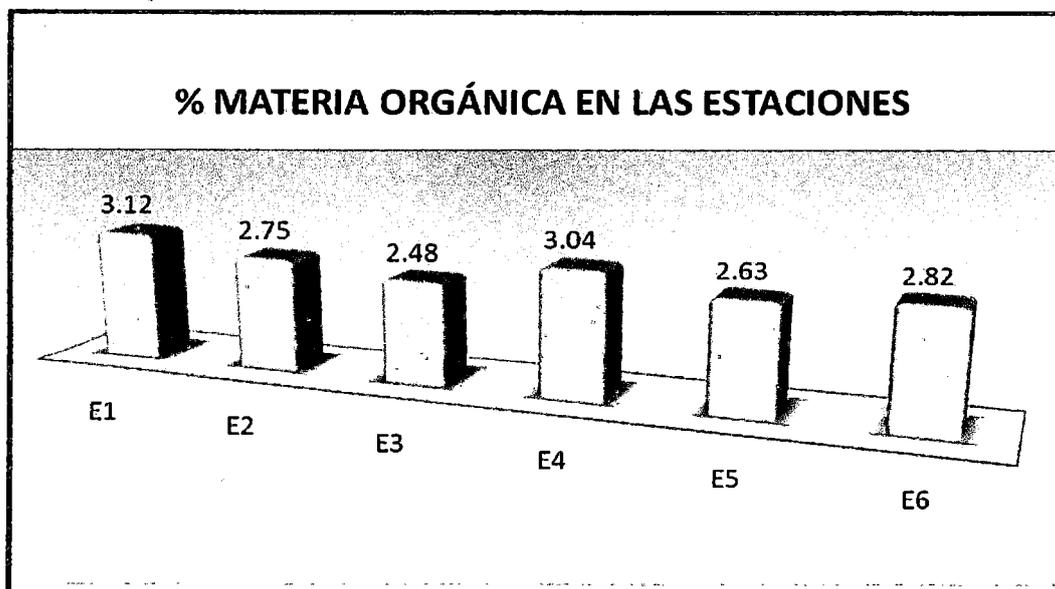
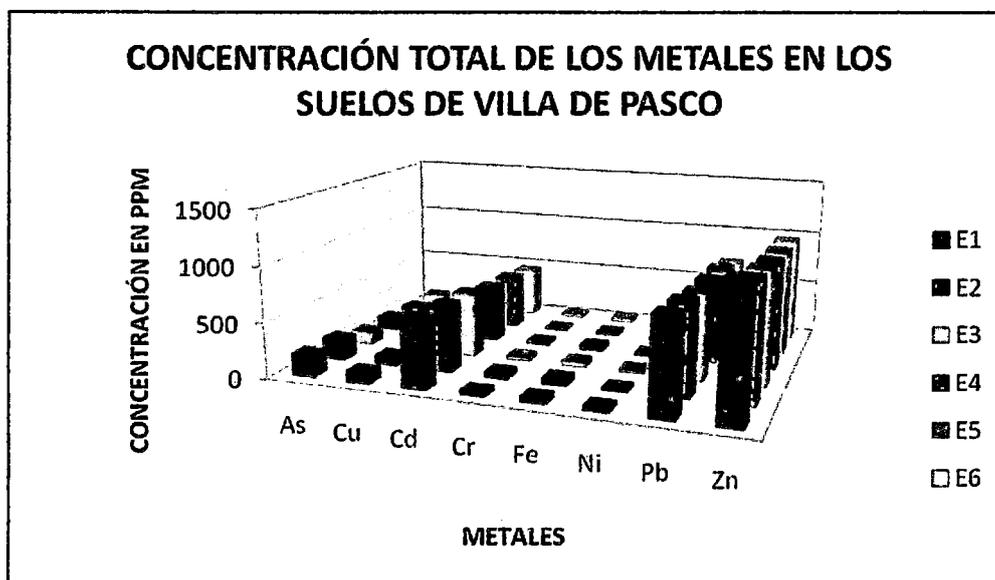


TABLA N° 5.1.2
CONCENTRACIÓN TOTAL DE LOS METALES EN SUELOS EN PPM

Estaciones	As	Cu	Cd	Cr	Fe	Ni	Pb	Zn
E1	203,8417	98,3200	629,2701	52,6746	59,7103	37,4201	869,1201	1197,4500
E2	194,0699	87,2711	612,0902	45,9210	54,4767	32,6203	842,5600	1076,1202
E3	119,9522	73,7823	589,1200	39,3022	49,1312	28,5062	784,6702	1032,3405
E4	117,9710	65,5410	517,2801	30,6723	42,8345	24,2932	773,8904	987,5403
E5	100,6347	57,7001	499,4502	28,2345	37,5723	21,7412	761,1300	969,1702
E6	95,4686	46,5202	454,3900	26,3423	31,1141	18,9203	698,4502	958,3800

FIGURA N° 5.1.3
CONCENTRACIÓN TOTAL DE LOS METALES EN LOS SUELOS DE VILLA DE PASCO



5.2 Absorción de arsénico por las especies A, B, C y D

TABLA N° 5.2.1
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ARSÉNICO EN LA ESTACIÓN (E1)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	236,65	23,78	18,86	18,87
P2	237,27	21,95	18,97	18,15
P3	237,23	23,62	18,98	18,67
P4	236,47	21,67	17,89	18,65
P5	236,92	23,85	19,02	19,03
P6	236,75	21,98	18,76	18,94

Tabla 5.2.1: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	236.47	237.27	236.8817	0.32065
ESPECIE B	6	21.67	23.85	22.8083	1.03987
ESPECIE C	6	17.89	19.02	18.7467	0.43033
ESPECIE D	6	18.15	19.03	18.7183	0.31600
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.2.2
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ARSÉNICO EN LA ESTACIÓN (E2)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	229,24	23,56	19,02	18,78
P2	229,12	23,35	19,17	18,45
P3	228,23	23,62	19,34	18,48
P4	228,65	23,67	19,03	18,98
P5	230,06	23,85	19,14	18,03
P6	228,43	23,98	19,36	18,49

Tabla 5.2.2: Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	228.23	230.06	228.9550	0.66690
ESPECIE B	6	23.35	23.98	23.6717	0.22158
ESPECIE C	6	19.02	19.36	19.1767	0.14679
ESPECIE D	6	18.03	18.98	18.5350	0.32415
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.2.3
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ARSÉNICO EN LA ESTACIÓN (E3)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	168,65	23,16	17,86	17,78
P2	167,77	22,95	17,97	17,75
P3	166,93	23,78	17,98	17,78
P4	168,47	22,64	17,69	17,98
P5	168,26	23,01	18,02	17,73
P6	167,95	22,65	17,76	17,94

Tabla 5.2.3: Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	166.93	168.65	168.0050	0.61825
ESPECIE B	6	22.64	23.78	23.0317	0.42016
ESPECIE C	6	17.69	18.02	17.8800	0.13312
ESPECIE D	6	17.73	17.98	17.8267	0.10577
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.2.4
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ARSÉNICO EN LA ESTACIÓN (E4)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	136,65	23,18	17,86	17,08
P2	136,07	22,99	17,97	17,07
P3	136,23	23,62	17,98	17,32
P4	135,87	23,67	17,69	17,12
P5	135,96	23,85	17,02	17,23
P6	135,75	22,98	17,76	17,02

Tabla 5.2.4: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	135.75	136.65	136.0883	0.32078
ESPECIE B	6	22.98	23.85	23.3817	0.37807
ESPECIE C	6	17.02	17.98	17.7133	0.35831
ESPECIE D	6	17.02	17.32	17.1400	0.11296
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.2.5
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ARSÉNICO EN LA ESTACIÓN (E5)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	128,34	22,78	16,16	16,78
P2	129,27	21,95	16,15	15,45
P3	127,95	22,62	15,98	16,48
P4	129,43	21,67	16,69	15,98
P5	129,24	22,85	16,02	16,03
P6	128,15	21,67	16,12	15,94

Tabla 5.2.5: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	127.95	129.43	128.7300	0.65400
ESPECIE B	6	21.67	22.85	22.2567	0.55504
ESPECIE C	6	15.98	16.69	16.1867	0.25703
ESPECIE D	6	15.45	16.78	16.1100	0.46338
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.2.6
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ARSÉNICO EN LA ESTACIÓN (E6)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	117,65	20,34	15,86	14,78
P2	119,27	19,12	14,97	14,45
P3	117,23	19,41	15,98	14,84
P4	119,47	20,17	15,69	13,98
P5	118,26	19,25	15,02	14,03
P6	118,75	20,19	14,76	13,98

Tabla 5.2.6: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	117.23	119.47	118.4383	0.89067
ESPECIE B	6	19.12	20.34	19.7467	0.54416
ESPECIE C	6	14.76	15.98	15.3800	0.52318
ESPECIE D	6	13.98	14.84	14.3433	0.40272
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.2.7
ABSORCIÓN DE ARSÉNICO POR LAS ESPECIES A, B, C y D

Estaciones	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
E1	236,8817	22,8083	18,7467	18,7183
E2	228,9550	23,6717	19,1767	18,5350
E3	168,0050	23,0317	17,8800	17,8267
E4	136,0883	23,3817	17,7133	17,1400
E5	128,7300	22,2567	16,1867	16,1100
E6	118,4383	19,7467	15,3800	14,3433

FIGURA N° 5.2.1
ABSORCIÓN DE ARSÉNICO POR LAS ESPECIES A, B, C y D



5.3 Absorción de cadmio por las especies A, B, C y D

TABLA N° 5.3.1
CONCENTRACIÓN EN PPM DE CADMIO EN LA ESTACIÓN (E1)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	33,65	723,17	27,86	26,78
P2	33,87	721,95	28,97	25,45
P3	33,23	723,62	28,98	26,48
P4	33,47	721,67	27,69	25,98
P5	33,26	723,85	29,02	26,03
P6	33,77	721,98	28,76	25,94

Tabla 5.3.1: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	33.23	33.87	33.5417	0.26581
ESPECIE B	6	721.67	723.85	722.7067	0.95198
ESPECIE C	6	27.69	29.02	28.5467	0.60695
ESPECIE D	6	25.45	26.78	26.1100	0.46338
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.3.2
CONCENTRACIÓN EN PPM DE CADMIO EN LA ESTACIÓN (E2)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	32,65	702,78	21,04	18,18
P2	32,27	701,95	21,07	18,15
P3	32,23	703,12	21,14	18,08
P4	32,47	702,67	21,19	18,28
P5	32,26	702,85	21,02	18,13
P6	32,55	701,98	21,16	18,24

Tabla 5.3.2: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	32.23	32.65	32.4050	0.17615
ESPECIE B	6	701.95	703.12	702.5583	0.48305
ESPECIE C	6	21.02	21.19	21.1033	0.06947
ESPECIE D	6	18.08	18.28	18.1767	0.07339
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.3.3
CONCENTRACIÓN EN PPM DE CADMIO EN LA ESTACIÓN (E3)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	30,15	679,12	20,56	17,78
P2	29,87	678,02	20,97	17,45
P3	30,23	679,37	20,98	17,48
P4	30,47	678,21	20,69	17,98
P5	30,26	679,45	20,02	17,03
P6	30,18	678,90	20,76	17,94

Tabla 5.3.3: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	29.87	30.47	30.1933	0.19439
ESPECIE B	6	678.02	679.45	678.8450	0.60069
ESPECIE C	6	20.02	20.98	20.6633	0.35466
ESPECIE D	6	17.03	17.98	17.6100	0.36155
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.3.4
CONCENTRACIÓN EN PPM DE CADMIO EN LA ESTACIÓN (E4)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	28,01	636,45	19,07	17,09
P2	28,07	635,15	19,12	17,15
P3	27,93	635,91	18,98	16,85
P4	28,17	636,38	18,69	16,94
P5	28,06	636,17	19,02	17,03
P6	28,15	635,09	18,76	17,07

Tabla 5.3.4: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	27.93	28.17	28.0650	0.08894
ESPECIE B	6	635.09	636.45	635.8583	0.60234
ESPECIE C	6	18.69	19.12	18.9240	0.19008
ESPECIE D	6	16.85	17.15	17.0217	0.10926
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.3.5
CONCENTRACIÓN EN PPM DE CADMIO EN LA ESTACIÓN (E5)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	25,95	618,84	18,06	16,78
P2	26,07	619,02	18,17	15,45
P3	25,83	618,15	17,98	16,48
P4	26,04	619,18	17,87	15,98
P5	25,76	618,98	18,12	16,03
P6	25,75	618,31	18,02	15,94

Tabla 5.3.5: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	25.75	26.07	25.9000	0.14000
ESPECIE B	6	618.15	619.18	618.7467	0.41769
ESPECIE C	6	17.87	18.17	18.0367	0.10633
ESPECIE D	6	15.45	16.78	16.1100	0.46338
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.3.6
CONCENTRACIÓN EN PPM DE CADMIO EN LA ESTACIÓN (E6)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	23,05	596,72	16,36	14,48
P2	22,97	595,85	15,97	14,99
P3	22,63	596,09	16,98	14,89
P4	22,77	595,17	16,69	15,08
P5	23,06	596,15	17,02	15,03
P6	22,75	595,93	16,76	15,04

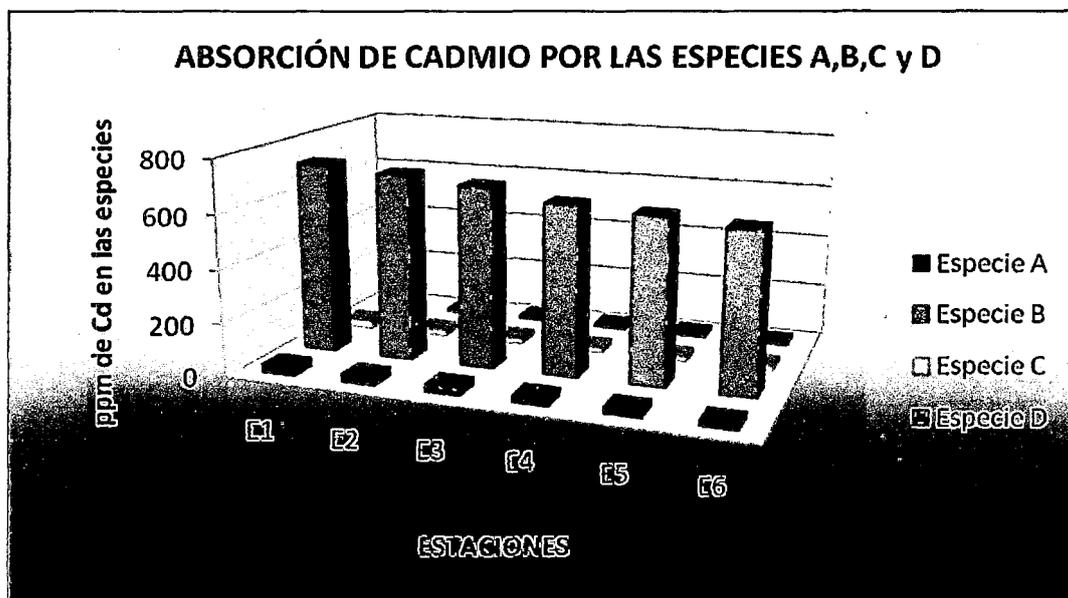
Tabla 5.3.6: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	22.63	23.06	22.8717	0.17916
ESPECIE B	6	595.17	596.72	595.9850	0.50278
ESPECIE C	6	15.97	17.02	16.6300	0.40090
ESPECIE D	6	14.48	15.08	14.9183	0.22427
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.3.7
ABSORCIÓN DE CADMIO POR LAS ESPECIES A, B, C y D

Estaciones	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
E1	33,5417	722,7067	28,5467	26,1100
E2	32,4050	702,5583	21,1033	18,1767
E3	30,1933	678,8450	20,6633	17,6100
E4	28,0650	635,8583	18,9240	17,0217
E5	25,9000	618,7467	18,0367	16,1100
E6	22,8717	595,9850	16,6300	14,9183

FIGURA N° 5.3.1
ABSORCIÓN DE CADMIO POR LAS ESPECIES A, B, C y D



5.4 Absorción de plomo por las especies A, B, C y D

TABLA N° 5.4.1
CONCENTRACIÓN EN PPM DE PLOMO EN LA ESTACIÓN (E1)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	15,53	13,78	985,84	14,38
P2	15,79	14,25	987,24	14,75
P3	15,23	13,62	979,95	14,30
P4	14,97	14,67	981,76	14,72
P5	14,49	13,75	986,52	14,41
P6	15,01	13,69	987,79	14,54

Tabla 5.4.1: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	14.49	15.79	15.1700	0.45730
ESPECIE B	6	13.62	14.67	13.9600	0.41309
ESPECIE C	6	979.95	987.79	984.8500	3.21505
ESPECIE D	6	14.30	14.75	14.5167	0.18619
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.4.2
CONCENTRACIÓN EN PPM DE PLOMO EN LA ESTACIÓN (E2)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	14,12	12,78	978,84	13,38
P2	14,27	12,95	977,24	13,75
P3	14,45	12,62	979,95	13,30
P4	14,07	12,67	978,76	13,72
P5	14,03	12,85	976,52	13,41
P6	14,05	12,98	977,79	13,54

Tabla 5.4.2: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	14.03	14.45	14.1650	0.16416
ESPECIE B	6	12.62	12.98	12.8083	0.14607
ESPECIE C	6	976.52	979.95	978.1833	1.24066
ESPECIE D	6	13.30	13.75	13.5167	0.18619
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.4.3
CONCENTRACIÓN EN PPM DE PLOMO EN LA ESTACIÓN (E3)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	13,21	11,04	943,75	12,78
P2	13,08	11,15	946,29	12,45
P3	13,16	11,12	937,18	12,48
P4	12,89	11,17	940,28	12,98
P5	13,02	11,15	939,12	12,53
P6	12,96	11,09	941,78	12,94

Tabla 5.4.3: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	12.89	13.21	13.0533	0.12094
ESPECIE B	6	11.04	11.17	11.1200	0.04817
ESPECIE C	6	937.18	946.29	941.4000	3.28147
ESPECIE D	6	12.45	12.98	12.6933	0.23746
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.4.4
CONCENTRACIÓN EN PPM DE PLOMO EN LA ESTACIÓN (E4)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	12,08	10,78	928,86	12,07
P2	12,07	10,95	928,97	12,04
P3	12,12	10,62	928,98	12,13
P4	12,17	10,67	927,69	12,09
P5	12,15	10,85	929,02	12,05
P6	12,19	10,98	928,76	12,12

Tabla 5.4.4: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	12.07	12.19	12.1300	0.04858
ESPECIE B	6	10.62	10.98	10.8083	0.14607
ESPECIE C	6	927.69	929.02	928.7133	0.51028
ESPECIE D	6	12.04	12.13	12.0833	0.03670
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.4.5
CONCENTRACIÓN EN PPM DE PLOMO EN LA ESTACIÓN (E5)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	11,65	09,53	898,16	12,07
P2	11,27	09,75	897,87	12,04
P3	11,23	09,62	897,98	12,13
P4	11,47	09,67	897,69	12,09
P5	11,26	09,85	898,23	12,05
P6	11,75	09,65	898,12	12,12

Tabla 5.4.5: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	11.23	11.75	11.4383	0.22203
ESPECIE B	6	9.53	9.85	9.6783	0.11035
ESPECIE C	6	897.69	898.23	898.0083	0.20292
ESPECIE D	6	12.04	12.13	12.0833	0.03670
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.4.6
CONCENTRACIÓN EN PPM DE PLOMO EN LA ESTACIÓN (E6)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	10,65	09,23	875,16	11,76
P2	10,27	09,15	871,90	11,84
P3	10,23	09,12	870,98	11,63
P4	10,47	09,26	874,69	11,59
P5	10,26	09,75	874,12	11,75
P6	10,75	09,45	875,26	11,67

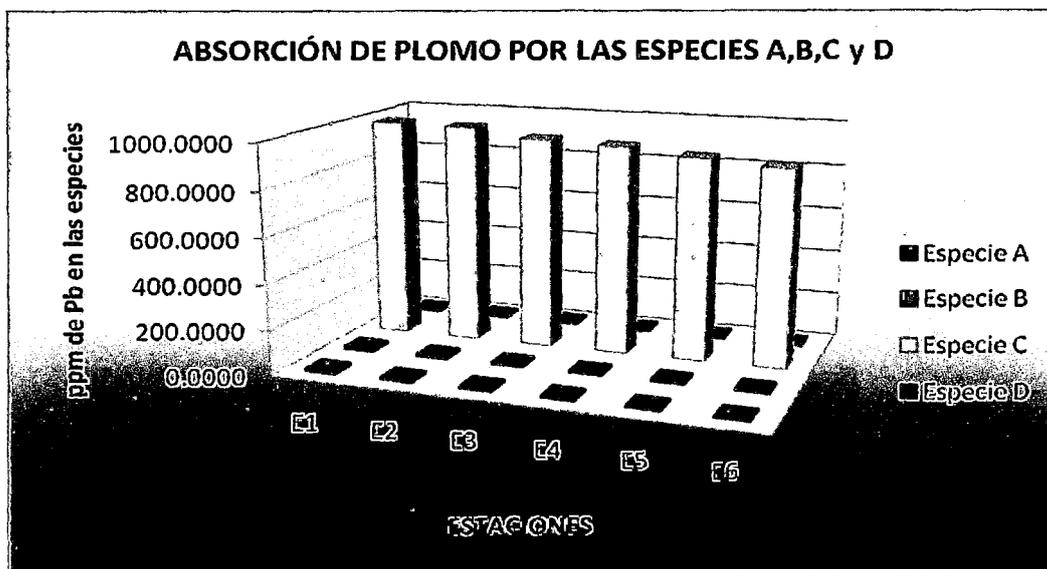
Tabla 5.4.6: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	10.23	10.75	10.4383	0.22203
ESPECIE B	6	9.12	9.75	9.3267	0.23754
ESPECIE C	6	870.98	875.26	873.6850	1.80880
ESPECIE D	6	11.59	11.84	11.7067	0.09309
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.4.7
ABSORCIÓN DE PLOMO POR LAS ESPECIES A, B, C y D

Estaciones	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
E1	15,1700	13,9600	984,8500	14,5167
E2	14,1650	12,8083	978,1833	13,5265
E3	13,0533	11,1200	941,4000	12,6933
E4	12,1300	10,8083	928,7133	12,0743
E5	11,4383	9,6783	898,0083	12,0923
E6	10,4380	9,3267	873,6850	11,7067

FIGURA N° 5.4.1
ABSORCIÓN DE PLOMO POR LAS ESPECIES A, B, C y D



5.5 Absorción de zinc por las especies A, B, C y D

TABLA N° 5.5.1
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ZINC EN LA ESTACIÓN (E1)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	11,34	10,03	13,78	1439,65
P2	11,01	10,29	14,25	1433,78
P3	11,79	10,21	13,62	1436,12
P4	11,86	10,37	14,67	1437,17
P5	11,65	10,23	13,75	1438,92
P6	11,12	10,04	13,69	1439,07

Tabla 5.5.1: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	11.01	11.86	11.4617	0.35707
ESPECIE B	6	10.03	10.37	10.1950	0.13590
ESPECIE C	6	13.62	14.67	13.9600	0.41309
ESPECIE D	6	1433.78	1439.65	1437.4517	2.23345
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.5.2
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ZINC EN LA ESTACIÓN (E2)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	10,04	09,74	13,02	1407,72
P2	10,01	09,62	13,05	1408,17
P3	10,13	09,84	13,62	1410,05
P4	10,16	09,75	13,27	1407,72
P5	10,05	09,98	13,55	1408,76
P6	10,11	09,86	13,23	1410,09

Tabla 5.5.2: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	10.01	10.16	10.0833	0.05854
ESPECIE B	6	9.62	9.98	9.7983	0.12336
ESPECIE C	6	13.02	13.62	13.2900	0.24940
ESPECIE D	6	1407.72	1410.09	1408.7517	1.09031
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.5.3
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ZINC EN LA ESTACIÓN (E3)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	09,89	09,36	11,78	1376,41
P2	09,76	09,29	11,98	1370,26
P3	09,65	09,21	11,79	1374,48
P4	09,86	09,37	11,67	1372,29
P5	09,49	09,23	11,75	1375,89
P6	09,56	09,44	11,69	1376,14

Tabla 5.5.3: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	9.49	9.89	9.7017	0.16216
ESPECIE B	6	9.21	9.44	9.3167	0.08892
ESPECIE C	6	11.67	11.98	11.7767	0.11057
ESPECIE D	6	1370.26	1376.41	1374.2450	2.47959
N válido (según lista)	6				

**TABLA N° 5.5.4
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ZINC EN LA ESTACIÓN (E4)**

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	09,01	09,03	08,86	1318,15
P2	09,56	09,09	08,97	1315,02
P3	09,24	09,11	08,98	1317,46
P4	09,72	09,17	08,69	1316,29
P5	09,65	09,13	08,02	1317,30
P6	09,24	09,07	08,76	1316,46

Tabla 5.5.4: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	9.01	9.72	9.4033	0.28062
ESPECIE B	6	9.03	9.17	9.1000	0.04858
ESPECIE C	6	8.02	8.98	8.7133	0.35831
ESPECIE D	6	1315.02	1318.15	1316.7800	1.09998
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.5.5
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ZINC EN LA ESTACIÓN (E5)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	08,98	08,07	07,96	1256,42
P2	08,96	08,09	07,95	1251,75
P3	08,94	08,07	07,94	1253,86
P4	08,92	08,08	07,96	1254,36
P5	08,95	08,09	07,97	1253,75
P6	08,96	08,08	07,98	1255,90

Tabla 5.5.5: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	8.92	8.98	8.9517	0.02041
ESPECIE B	6	8.07	8.09	8.0800	0.00894
ESPECIE C	6	7.95	7.98	7.9633	0.01033
ESPECIE D	6	1251.75	1256.42	1254.3400	1.67613
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.5.6
CONCENTRACIÓN EN PPM DE ZINC EN LA ESTACIÓN (E6)

N° de plantas	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
P1	08,13	08,03	07,18	1242,83
P2	08,16	08,01	07,17	1240,75
P3	08,14	08,02	07,16	1239,95
P4	08,17	08,01	07,19	1242,06
P5	08,15	08,02	07,15	1240,90
P6	08,17	08,01	07,17	1241,15

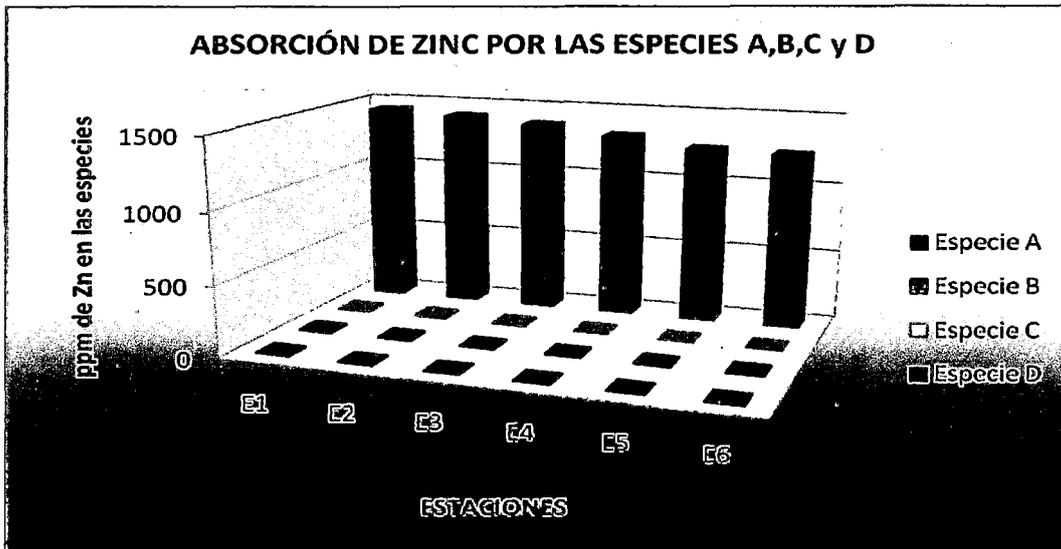
Tabla 5.5.6: Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
ESPECIE A	6	8.13	8.17	8.1533	0.01633
ESPECIE B	6	8.01	8.03	8.0167	0.00816
ESPECIE C	6	7.15	7.19	7.1700	0.01414
ESPECIE D	6	1239.95	1242.83	1241.2733	1.02193
N válido (según lista)	6				

TABLA N° 5.5.7
ABSORCIÓN DE ZINC POR LAS ESPECIES A, B, C y D

Estaciones	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
E1	11,4617	10,1950	13,9600	1437,4517
E2	10,0833	9,7983	13,2900	1408,7517
E3	9,7017	9,3167	11,7767	1374,2450
E4	9,4033	9,1000	8,7133	1316,7800
E5	8,9517	8,0800	7,9633	1254,3400
E6	8,1533	8,0167	7,1700	1241,2733

FIGURA N° 5.5.1
ABSORCIÓN DE ZINC POR LAS ESPECIES A, B, C y D



5.6 Índice de Bioconcentración de las especies A, B, C y D

TABLA N° 5.6.1
ÍNDICE DE BIOCONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES A, B, C y D PARA EL ARSÉNICO

Estaciones	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
E1	1,1621	0,1119	0,0919	0,0918
E2	1,1797	0,1220	0,0988	0,0955
E3	1,4006	0,1920	0,1490	0,1486
E4	1,1536	0,1982	0,1501	0,1453
E5	1,2792	0,2212	0,1608	0,1601
E6	1,2406	0,2068	0,1611	0,1502

FIGURA N° 5.6.1
ÍNDICE DE BIOCONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES A, B, C y D PARA EL ARSÉNICO

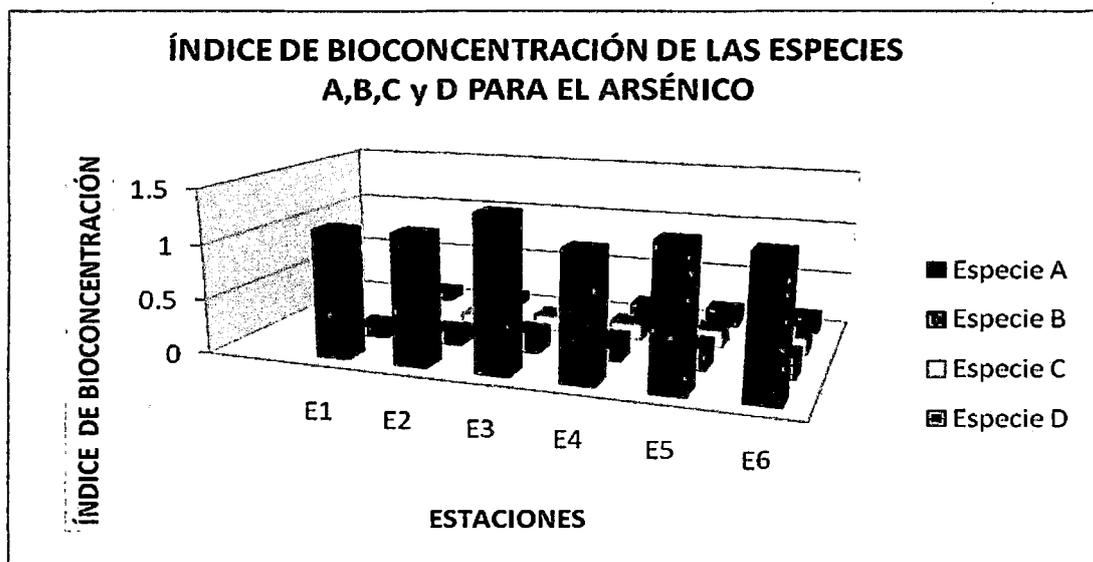


TABLA N° 5.6.2
ÍNDICE DE BIOCONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES A, B, C Y D PARA EL CADMIO

Estaciones	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
E1	0,0533	1,1485	0,0454	0,0415
E2	0,0529	1,1478	0,0345	0,0297
E3	0,0513	1,1523	0,0351	0,0299
E4	0,0543	1,2292	0,0366	0,0329
E5	0,0519	1,2389	0,0361	0,0323
E6	0,0503	1,3116	0,0365	0,0328

FIGURA N° 5.6.2
ÍNDICE DE BIOCONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES A, B, C Y D PARA EL CADMIO

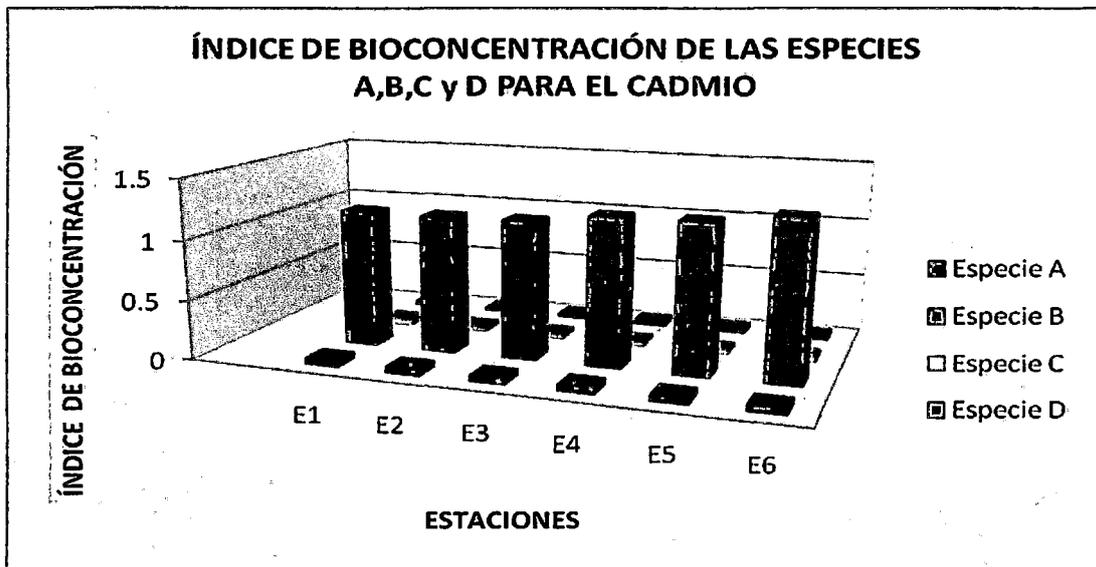


TABLA N° 5.6.3
ÍNDICE DE BIOCONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES A, B,C y D PARA EL PLOMO

Estaciones	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
E1	0,0175	0,0161	1,1101	0,0167
E2	0,0168	0,0152	1,1609	0,0160
E3	0,0166	0,0142	1,1997	0,0162
E4	0,0156	0,0139	1,2000	0,0156
E5	0,0150	0,0127	1,1798	0,0159
E6	0,0149	0,0133	1,2509	0,0168

FIGURA N° 5.6.3
ÍNDICE DE BIOCONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES A, B, C Y D PARA EL PLOMO

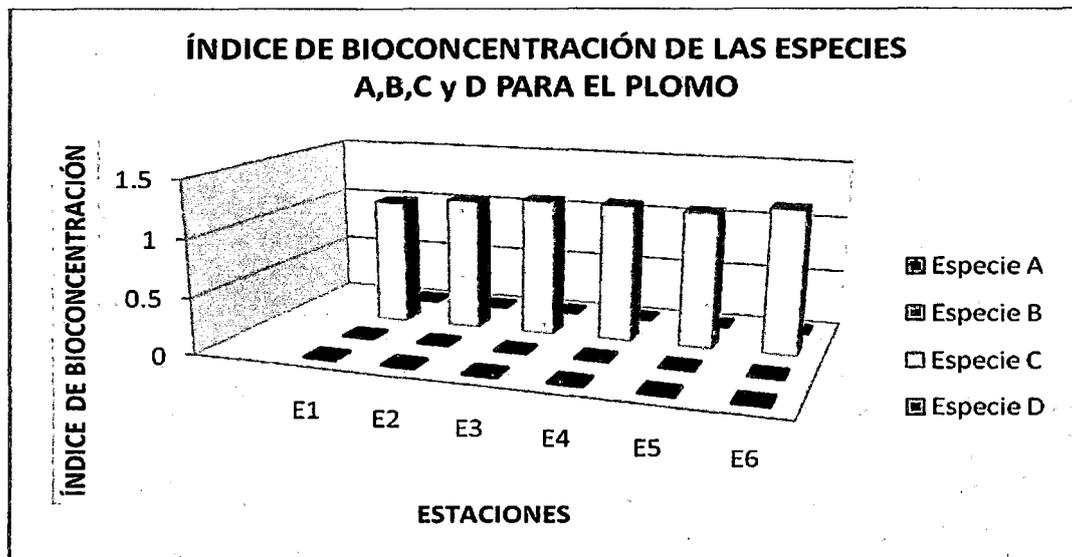
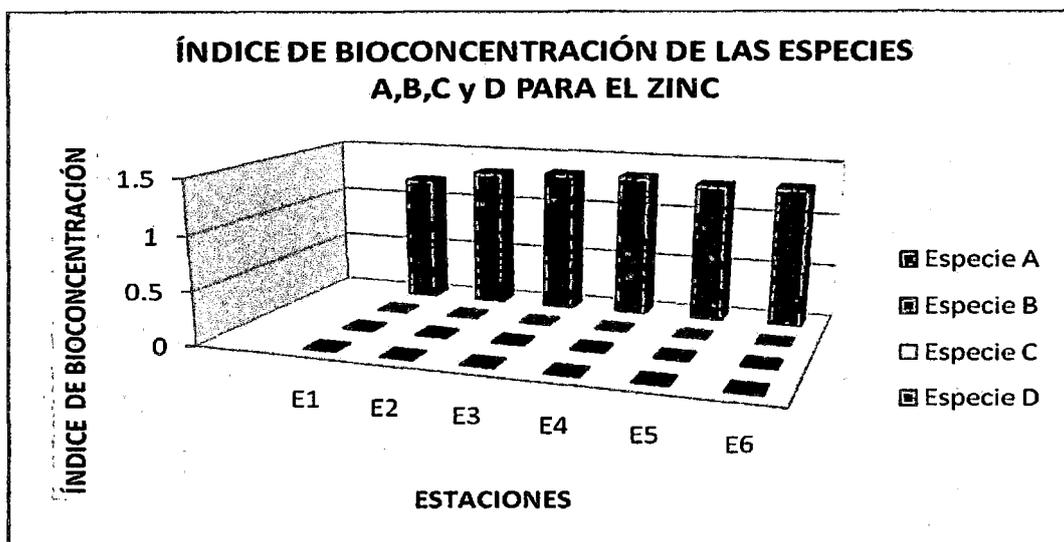


TABLA N° 5.6.4
ÍNDICE DE BIOCONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES A, B, C y D PARA EL ZINC

Estaciones	Especie A	Especie B	Especie C	Especie D
E1	0,0096	0,0085	0,0117	1,2004
E2	0,0094	0,0091	0,0123	1,3091
E3	0,0093	0,0090	0,0114	1,3314
E4	0,0095	0,0092	0,0088	1,3334
E5	0,0092	0,0083	0,0082	1,2942
E6	0,0085	0,0084	0,0075	1,2952

FIGURA N° 5.6.4
ÍNDICE DE BIOCONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES A, B, C y D PARA EL ZINC



5.7 Factor de Remediación de las especies A, B, C y D

TABLA N° 5.7.1
FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE A

ESTACIONES	AREA (m ²)	PROPORCIÓN DE ARSÉNICO CONTENIDO EN LA PARTE AÉREA (HOJAS) DE LA ESPECIE A	FACTOR DE REMEDIACIÓN
E1	0,648	0,7974	1,2305
E2	0,650	0,8016	1,2333
E3	0,680	0,7604	1,1182
E4	0,650	0,7329	1,1275
E5	0,650	0,7355	1,1315
E6	0,645	0,7407	1,1484

TABLA N° 5.7.2
FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE B

ESTACIONES	AREA (m ²)	PROPORCIÓN DE CADMIO CONTENIDO EN LA PARTE AEREA (HOJAS) DE LA ESPECIE B	FACTOR DE REMEDIACIÓN
E1	0,648	0,9390	1,4490
E2	0,650	0,9382	1,4434
E3	0,680	0,9398	1,3821
E4	0,650	0,9362	1,4403
E5	0,650	0,9392	1,4449
E6	0,645	0,9414	1,4595

TABLA N° 5.7.3
FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE C

ESTACIONES	AREA (m²)	PROPORCIÓN DE PLOMO CONTENIDO EN LA PARTE AEREA (HOJAS) DE LA ESPECIE C	FACTOR DE REMEDIACIÓN
E1	0,648	0,9414	1,4527
E2	0,650	0,9481	1,4586
E3	0,680	0,9492	1,3959
E4	0,650	0,9534	1,4668
E5	0,650	0,9551	1,4694
E6	0,645	0,9571	1,4838

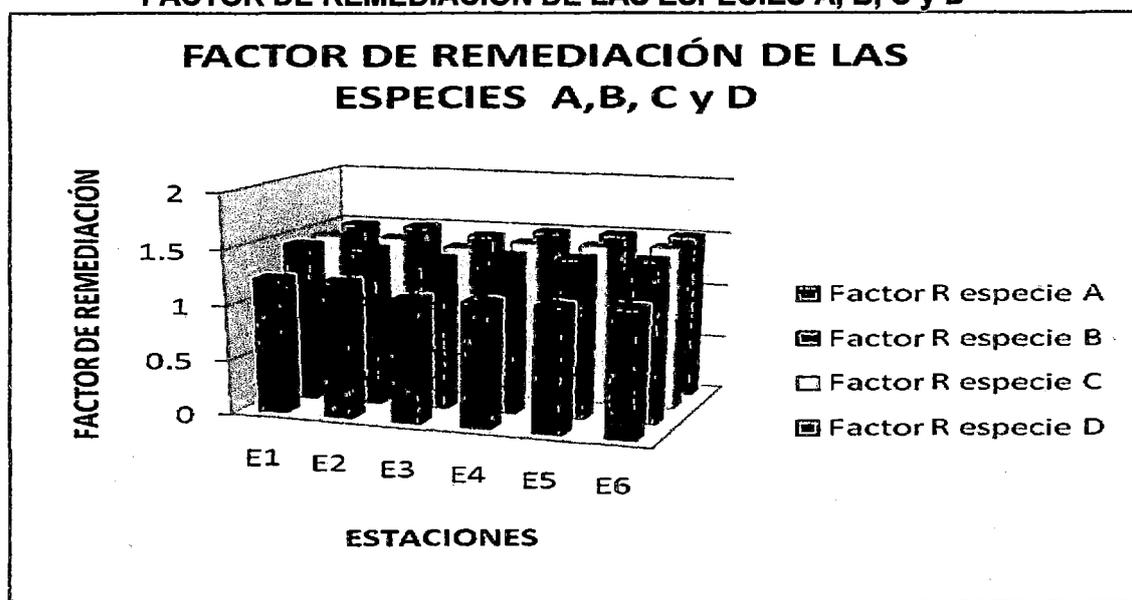
TABLA N° 5.7.4
FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE D

ESTACIONES	AREA (m²)	PROPORCIÓN DE ZINC CONTENIDO EN LA PARTE AEREA (HOJAS) DE LA ESPECIE D	FACTOR DE REMEDIACIÓN
E1	0,648	0,9603	1,4819
E2	0,650	0,9655	1,4854
E3	0,680	0,9662	1,4209
E4	0,650	0,9661	1,4863
E5	0,650	0,9659	1,4860
E6	0,645	0,9680	1,5008

TABLA N° 5.7.5
FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE A, B, C y D

ESTACIONES	FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE A	FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE B	FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE C	FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LA ESPECIE D
E1	1,2305	1,4490	1,4527	1,4819
E2	1,2333	1,4434	1,4586	1,4854
E3	1,1182	1,3821	1,3959	1,4209
E4	1,1275	1,4403	1,4668	1,4863
E5	1,1315	1,4449	1,4694	1,4860
E6	1,1484	1,4595	1,4838	1,5008

FIGURA N° 5.7.1
FACTOR DE REMEDIACIÓN DE LAS ESPECIES A, B, C y D



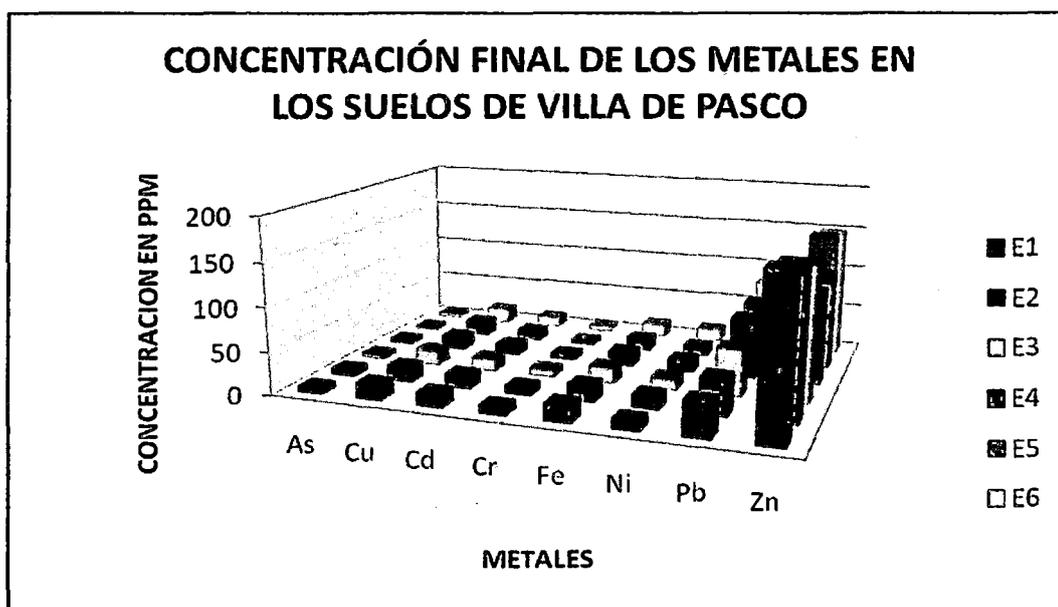
5.8 Concentración final de los metales en los suelos de Villa de Pasco

La concentración final de los metales en los suelos se determinó después de 74 días en que se tomaron las muestras para realizar el presente estudio.

TABLA N° 5.8.1
CONTENIDO FINAL DE METALES EN SUELOS EN PPM

Estaciones	As	Cu	Cd	Cr	Fe	Ni	Pb	Zn
E1	7,1232	18,2976	15,6789	9,3897	19,6644	11,6755	39,0011	178,0076
E2	6,8975	17,0456	15,0002	9,0056	18,5590	15,0023	42,0067	169,1005
E3	5,1422	17,0065	14,2345	7,5542	18,4548	12,4332	54,0034	154,0754
E4	5,0006	15,7311	12,2100	6,5888	16,6775	14,0057	69,4864	107,1231
E5	4,2366	17,2335	12,1122	5,0076	14,5089	11,2242	72,0231	156,6008
E6	4,2207	16,5300	11,0056	5,3408	14,4533	13,5744	79,5397	147,6522

FIGURA N° 5.8.1
CONCENTRACIÓN FINAL DE LOS METALES EN LOS SUELOS DE VILLA DE PASCO



VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de hipótesis con los resultados

De acuerdo a los resultados se demuestra que las especies fitoextractoras, *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y el *Bidens triplinervia* (especie D), son más eficaces para remediar los suelos de Villa de Pasco que están contaminados por As, Cd, Pb y Zn provenientes de la actividad minera, obteniéndose un 96% de As absorbido por la especie A, mientras que la especie B absorbió un 97,6% de Cd, luego la especie C absorbió un 92,5% de Pb y la especie D absorbió un 85,3% de Zn, demostrándose así la eficacia de estas especies en la absorción de los metales.

La especie A, logra reducir la concentración del As en un valor promedio de 5,44ppm estando debajo del LMP según la ECA peruana para suelos, mientras para el Cd la especie B lo reduce, pero el valor promedio de 13,37ppm no está debajo del LMP de la ECA peruana, pero comparado con la ECA internacional si está debajo del LMP., por otro lado, la especie C logra reducir al Pb a un valor promedio de 59,34ppm estando debajo del LMP de la ECA peruana, y finalmente la especie D logra reducir al Zn a un valor promedio de 152ppm que está debajo del LMP según la ECA internacional ya que la ECA peruana no considera este metal en sus parámetros.

Los valores obtenidos de los índices de tolerancia de las especies A, B, C y D a los metales, son mayores que la unidad.

Según los resultados se tiene que el *Sonchus oleraceus* (especie A), es más eficaz para absorber el arsénico, por el valor promedio del índice de bioconcentración de 1,2360 como se muestra en la tabla 5.6.1, mientras el *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), es más eficaz para absorber el cadmio, siendo el valor promedio del índice de bioconcentración de 1,2047 como se muestra en la tabla 5.6.2, luego el *Plantago orbignyana* (especie C), es más eficaz para absorber el plomo, como se puede apreciar en la tabla 5.6.3 donde el valor promedio del índice de bioconcentración es de 1,1836 y finalmente podemos señalar que el *Bidens triplinervia* (especie D), es más eficaz para absorber zinc, como se muestra en la tabla 5.6.4 donde el valor promedio del índice de bioconcentración es de 1,2939., siendo así la especie D con mayor valor de índice, luego la especie A, la especie B y por último la especie C con menor valor de índice.

De los resultados obtenidos el *Sonchus oleraceus* (especie A), tiene un valor promedio de factor de remediación de 1,1649 como se muestra en la tabla 5.7.1, el *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), presenta un valor promedio del factor de remediación de 1,4365 como se muestra en la tabla 5.7.2, luego el *Plantago orbignyana* (especie C), es más eficaz para absorber el plomo, donde el valor promedio de factor de remediación es 1,4545 como se muestra en la tabla 5.7.3 y el *Bidens triplinervia* (especie D), es más eficaz para absorber zinc, donde el valor promedio factor de remediación es 1,4769 como se muestra en la tabla 5.7.4, siendo así la especie D con mayor valor de factor de remediación, luego la especie C, la especie B y finalmente la especie A con un menor valor, lo que indica que la especie D tiene mayor capacidad de absorción para el zinc.

Las características edafológicas de los suelos de Villa de Pasco presentan condiciones favorables para el crecimiento de las especies A,B, C y D, donde el pH tiene un valor promedio de 5,76 siendo un suelo medianamente ácido por lo que los metales están disponibles y tienden a estar móviles, por lo tanto, pueden ser absorbidos por la especies, por otro lado, los suelos de Villa de Pasco tiene una composición de materia orgánica en promedio de 2,81 es medianamente rica, por lo que justifica el crecimiento favorable de las especies, también el suelo presenta poca salinidad ya que la conductividad es en promedio 0,60 (dS/m).

6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares

Se ha demostrado en numerosos estudios que existe una gran diferencia en la absorción de metales de las diferentes especies de plantas, y también entre genotipos de especies (Brooks, 1998; Prasad, 1997 y Prasad y Hagemeyer, 1999). Sin embargo, a la hora de elegir las especies determinadas para un sitio, es muy importante incluir las especies que crecen a nivel local o muy cerca del sitio, las cuales son competitivas en virtud de las condiciones locales y toleran más eficientemente la toxicidad del contaminante (Ginocchio y Baker 2004).

Aunque existen numerosas investigaciones en esta área, existen pocos trabajos en América del Sur (Bech et al., 2002 y Ginocchio y Baker 2004).

Otras investigaciones sobre la Fitoextracción, señalan que las Asteraceae ha reportado la tolerancia al plomo en *Sonchus oleraceus* y se le ha propuesto como especie fitorremediadora de ambientes contaminados con este metal (Xiong, 1997). Con la presente investigación realizada en los suelos de Villa de

Pasco se contrasta la eficacia que presenta el *Sonchus oleraceus* (especie A) para la absorción del arsénico.

En el 2009, Zhao et al., demostraron que la fitoextracción de zinc y cadmio por *Thlaspi caerulescens* es eficiente en suelos ya que el factor de bioconcentración de zinc ($[\text{parte aérea}] : [\text{suelo}]$), que es una medida de la capacidad de la planta para absorber y transportar el metal del suelo hacia las partes fácilmente cosechables, es mayor que 1, cuando la planta crece en suelos con una alta contaminación de zinc, con la investigación realizada en los suelos de Villa de Pasco, se obtiene como resultado el factor de bioconcentración de zinc valores mayores que la unidad.

Recientemente una tesis doctoral sobre "Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana", desarrollado en la Universidad de Barcelona - España por Paola Andrea Durán Cuevas en el 2010, precisa las diferencias entre estos distintos factores ecológicos han sido motivo para investigar comparativamente la tolerancia de las respectivas floras frente al impacto de los metales del suelo en dos localidades diferentes: Hualgayoc, Cajamarca (Perú) en la zona andina y Poblet, Tarragona (España) en el área mediterránea.

Con la presente investigación realizada se demuestra la tolerancia de las especies: *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y el *Bidens triplinervia* (especie D) frente al impacto de los metales en los suelos de Villa de Pasco, donde se basa la aplicación de los principios teóricos: Metal-Acumulación, en donde los metales son acumulados en las plantas en su parte aérea en formas no nocivas para la

especie, ya sea mediante un ligamiento con células de la pared, almacenamiento de los iones al interior de la vacuola, complejación por ácidos orgánicos y por proteínas ligadoras de metales específicos y otras propiedades como adaptaciones enzimáticas y efectos en la permeabilidad de la membrana. Siendo las plantas con mecanismos de metal-acumulación denominadas Acumuladoras y son las especies más comunes en los suelos contaminados. Dentro de este grupo existen muchas especies de las familias como las que se estudiaron en la presente investigación como Brassicaceae, Asteraceae y Plantaginaceae.

En el presente trabajo de investigación se ha desarrollado una metodología integrada donde confluyen varias técnicas analíticas para determinar la eficacia de la fitoextracción para remediar suelos contaminados por elementos metálicos, determinando la Valoración e Índices de tolerancia a los metales, un índice basado en la acumulación de metales y su movimiento dentro de la planta, mediante la aplicación del índice de bioconcentración para comparar la eficiencia de diferentes plantas y el factor de remediación, en los otros estudios por lo general solamente se determinan el índice de bioconcentración.

VII. CONCLUSIONES

- a) Se determinó las especies fitoextractoras, el *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y del *Bidens triplinervia* (especie D) como especies más eficaces para remediar los suelos contaminados por elementos metálicos en Villa de Pasco. Se ha evaluado la eficacia del *Sonchus oleraceus* (especie A) para absorber el arsénico, el *Lepidium bipinnatifidum* (especie B) para absorber el cadmio, el *Plantago orbignyana* (especie C) para absorber el plomo y el *Bidens triplinervia* (especie D) para la absorción del zinc.
- b) Se determinó el Índice de Bioconcentración de las especies *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y del *Bidens triplinervia* (especie D), siendo la relación de la concentración del metal en la planta con respecto a la concentración total del metal en el suelo, obteniéndose valores mayores que la unidad, por lo que, son eficaces para absorber metales As, Cd, Pb y Zn de los suelos de Villa de Pasco.
- c) Se determinó el factor de remediación para los suelos de Villa de Pasco de las especies *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y del *Bidens triplinervia* (especie D), siendo la proporción del metal contenido en la parte aérea de la planta con respecto a la superficie del suelo, mayor que 1, lo que se demuestra que las especies son aptas para los procesos de fitoextracción, por lo tanto, el objetivo de la remediación se da por cumplido y la eliminación de la vegetación contaminada es económicamente más efectiva que la eliminación del suelo contaminado.

- d) Las especies A, B, C y D han acumulado significativamente los metales en la parte aérea por lo que se han ubicado dentro de la categoría de plantas acumuladoras, siendo las condiciones fisicoquímicas de los suelos de Villa de Pasco que favorecen el crecimiento de las especies *Sonchus oleraceus* (especie A), *Lepidium bipinnatifidum* (especie B), *Plantago orbignyana* (especie C) y el *Bidens triplinervia* (especie D), donde las especies presentan gran capacidad de absorción de los metales y concentrarlos en la parte aérea (hojas), disminuyendo así la concentración de metales en los suelos, por lo tanto, los suelos están descontaminados, finalmente se concluye la eficacia de la fitoextracción para la remediación de suelos contaminados por elementos metálicos en Villa de Pasco es viable, para luego desarrollar las actividades agrícolas en la zona.
- e) Según la normatividad peruana ECA para suelos, la concentración para el As es 50ppm y se obtuvo 5,44ppm que está por debajo del LMP, para el Cd es 1,4 ppm y se obtuvo 13,37ppm lo que indica que esta aún elevado el valor , mientras para el Pb es 70ppm y se obtuvo 59,34ppm lo que nos indica que esta debajo del LMP y finalmente para el Zn no se tiene un valor comparativo con la ECA peruana, pero sí se comparó con la ECA internacional lo que nos indica que esta debajo del LMP.

VIII. RECOMENDACIONES

- a) Continuar con la aplicación de la fitoextracción como técnica que utiliza plantas para remediar suelos contaminados con metales tóxicos, siendo la alternativa de menor costo con respecto al empleo de métodos mecánicos o químicos, además la capacidad extractiva selectiva se mantiene debido al crecimiento vegetal.
- b) Se sugiere cuando se aplica la fitoextracción para remediar zonas extensas, las especies extraídas con los metales sean incineradas en una cámara de combustión herméticamente cerrada donde se utilizará un sistema de depuración de humos, un lavado con lechada de cal para neutralizar los gases ácidos; una inyección de carbono absorbe los metales y los compuestos orgánicos, finalmente un filtro de mangas recoge las sales de neutralización y las partículas que se generan, luego recuperados los metales como el cadmio, plomo y el zinc para ser utilizados para diversas aleaciones o para las celdas electrolíticas.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADRIANO, D.C. **Trace Elements in the Terrestrial Environment**. New York. Editorial. Springer-Verlag. 1986.
2. ANTONOVICS, J. et al; **Evolution of metal tolerance in plants**. Nort Carolina.1971.
3. ALLOWAY, B.F. **Heavy metals in soils**. Editorial Blackie Academic and Profesional. Segunda Edición.1995.
4. AURRECOCHEA Jn.aK. J. L. **Guía Metodológica para Análisis Químico de Suelos**. Universidad de Valencia.España. 2004.
5. AVELINO CARHUARICRA C. **Estudios de la Contaminación de suelos agrícolas por: cadmio, plomo, zinc y arsénico en la nueva ciudad de Cerro de Pasco**. Trabajo de investigación. Universidad Nacional del Callao. 2008.
6. BAKER, A.J.M., MCGRATH, S.P., SIDOLI, C.M.D. Y REEVES, R.D. **The Possibility of in-Situ Heavy-Metal Decontamination of Polluted Soils Using Crops of Metal-Accumulating Plants**. *Resources Cons.Recycling*. Vol.11: 41-49.1987.
7. BAKER, A.J.M., MCGRATH, S.P., REEVES, R. Y SMITH, J.A.C. **Metal Hyperaccumulator Plants: A Review of the Ecology and Physiology of a Biological Resource for Phytoremediation of Metal-Polluted Soils**. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Vol 22: 85-107. 2004.
8. BECH, J., POSCHENRIEDER, C., BARCELÓ, J., LANSAC. **Plants from mine in the South American Area as Potential Sources of Germplas, for Phytoremediation Technologies**. *Acta Biotechnol*. Vol. 22: 1-2, 5-11. 2002.
9. BECERRIL, J. M., BARRUTIA, O., GARCÍA PLAZAOLA, J.I., HERNÁNDEZ, A.,

10. BIRLEY, N.H. y LOCK, K. **Health and peri-urban natural resource production.** *Environment and Urbanisation*. Vol.10: 89-106.1999.
11. BRADY, N.C. Y WEIL, R.R. **The nature and properties of soils.** New York Editorial Prentice Hall, Upper Saddle River. 14th Edición. 2008.
12. BRADSHAW, A.D. **Populations of *Agrostis tenuis* resistant to lead and zinc poisoning** *Nature*. Vol.169: 1098.1952.
13. BRADSHAW, A.D. **Adaptation of plants to soils containing toxic metals a test for conceit.** In: **Origin and development of Adaptation.** Published Online: 30 de mayo 2008. DOI:10.10027/9780470720837.ch.2
14. BRADSHAW, A.D. y McNEILLY .**Evolución y Contaminación: water pollution research.** Studies in Biology n° 30. Editorial Omega. 1985.
15. BROOKS R.R. **Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals Their Role in Phytoremediation, Phytomining.** International Center for Agriculture and Biosciences. New York.1998.
16. BROWN, S.L., CHANEY, R.L., ANGLE, J.S. y BAKER, A.J.M. **Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution.** *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 59: 125-133. 1995.
17. CANO GARCIA ADAN. **Manual de prácticas de la materia edafología.** Chiapas Gobierno del Estado. México. 2006.
18. CARTER, M.R. **Muestreo de suelo y métodos de análisis.** Florida. Editorial Lewis. Primera Edición. 2001.
19. CALVO DE ANTA. **Contaminación de suelos.** *Ecología*. Vol14: 01. 1997.
20. CHANEY, R.L. B. **Potential effects of waste constituents on the food chain** In: **Land treatment of hazardous wastes.** Escuela Nacional de Agricultura Chapingo. México.1983.

21. CHANEY, R.L., MALIK, M., LI, Y.M., BROWN, S.L., BREWER, E.P. **Phytoremediation of soil metals.** *Current Opinion in Biotechnology.* Vol 8: 279-284.1995.
22. CHANEY, M., BROWN, S.L., LI, M., ANGLE, J.S. HOMER, F.A. y GREEN, C.E. **Potential use of metal hyperaccumulators.** *Min Environ Mag.* Vol 3:9-11.1995.
23. CHARLES B. BOSS y KENNETH J. FREDEEN. **Instrumentación y Técnicas de Espectrofotometría de Emisión de Plasma de Acoplamiento Inductivo.** U.S.A. Editorial Perkin Elmer Corporation. Segunda Edición.2000.
24. CUNNINGHAM, S.D., BERTI, W.R. y HUANG, J.W. **Phytoremediation of contaminated soil.** *Trends Biotechnol.* Vol.13:393-397. 1995.
25. DELGADILLO LÓPEZ ANGÉLICA, GÓNZALES RAMIREZ CÉSAR, PRIETO GARCIA FRANCISCO, VILLAGOMEZ IBARRA JOSÉ ROBERTO. **La fitorremediación como una alternativa para eliminar la contaminación.** Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 2008.
26. DURÁN CUEVAS, Paola Andrea. **Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana .** Tesis Doctoral. Barcelona. Universidad de Barcelona.2010.
27. DUSHENKOV,V., et al. **Rhyzofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams** *Environ. Sci.Technol.* Vol.29: 1239-1245. 1995.
28. FIGLIOLIA, R., SOCCIARELLI, S., y PENNELLI, B. **Capability of Brassica napus to accumulate Cadmiun, Zinc and Copper from soils.** *Act Biotechnol.* Vol.22: 1-2. 133-140.2002.
29. GARCÍA, I. y DORRONSORO, C. **Contaminación por metales pesados.** **En:Tecnología de Suelos.** Universidad de Granada. 2005.Disponible en: <http://edafología.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>. Artículo Web.Consultada en 15 mayo 2012.

30. HALL, J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance.
Journal of Experimental Botany. Vol.53:1-11.2002.
31. HARTE JOHN, HOLDREN CHERYL. **Guía de las sustancias contaminantes**
El libro de los tóxicos de la A a la Z. México. Editorial Grijalbo. 1995.
32. HERNÁNDEZ, R., **Metodología de la Investigación**. México. Editorial Mac Graw
Hill Interamericana de México. Tercera Edición.2003.
33. KABATA-PENDIAS, A. y PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**.
Florida. Tercera Edición. 2000.
34. JAFFRÉ, T. y SCHMID, M. **Accumulation du nickel par une Rubiacée de
Nouvelle Calédonia: Psychotria douarrei** *Acad.Sci.* Paris. Ser D-278:1727-
1730. 1974.
35. JUAREZ SOTO H **Contaminación por metales pesados, UNA 2006**
36. KIDD, P.C.BECERRA CASTRO, C. GARCÍA LESTÓN. **Aplicación de plantas
hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género
Alyssum L.** *Ecosistemas* Vol.16: 26-43. 2007.
37. MACEK, T., FRANCOVA, K., SURA, M. y MACKOVA, M. **Genetically modified
plants with improved properties for phytoremediation purposes.**
In:Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils. Editorial Springer. Vol.2:
85-108. 2006.
38. MACNAIR, M. **Within and between population genetic variation for zinc
accumulation in Arabidopsis halleri.** *New Phytologist* . Vol.155: 59–66. 2002.
39. MENGUEL Y KIRKBY **Mecanismos y suelos 2001**
40. MEDINA JANAMPA H. HERMITAÑO SALVADOR S. MORAN DE LA CRUZ E.
Impacto Ambiental en las operaciones mineras. Lima. 2004.

41. McBRIDE, M.B. **Environmental Chemistry of soils.** Oxford Univ. New York. *Physiol. Plant Mol. Biol.* Vol.49: 643-668. 1994.
42. MARMIROLI, B., SOMOTOKIN, B.M MARMIROLI, M., MAESTRI, E., y, V. YANCHUK. **Capacity building in Phytotechnologies.** In: **Application of Phytotechnologies for Cleanup Industrial, Agricultural and Wastewater Contamination.** Vol 1: 15-24. 2010.
43. McNAUGHTON, S.J., FOLSOM, T.C., LEE, T., PARK, F., PRICE, C., ROEDER, D., SCHMITZ, J. y STOCKWELL, C. **Heavy metal tolerance in *Typha latifolia* without the evolution of tolerant races.** *Ecology.* Vol.55: 1163-1165. 1974.
44. LAMBINON, J., y AUQUIER, P. **La flore et la végétation des terrains calaminaires de la Wallonie septentrionale et de la Rhénanie aixoise. Types chorologiques at groupes écologiques.** *Nature mosana.* Vol. 16:113-131.1963
45. LELIE VAN DE D. **Biological interactions: the role of soil bacteria in the Biorremediation of heavy metal-polluted soils.**Berlin.1998.
46. LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils.** Ed. John Wiley and sons. New York. 1979.
47. LÓPEZ, M. y GRAU J.M. **Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular.** Ministerio de Medio ambiente y Medio Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria. ISBN 978-84-491-0980-5.Madrid 2009.
48. McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils.** Oxford Univ. New York. 1994.
49. PÉREZ - SIRVENT, C., MARTINEZ-SANCHEZ, M.J., GARCÍA-LORENZO, M.L. BECH, J. **Uptake of Cd and Pb by natural vegetation in soils polluted by by minning activities.** *Fresenius Environmental Bulletin* 17: 1666-1671. 2008.

50. PILON-SMITS, E. **Phytoremediation.** *Annu. Rev. Plant. Biol.* Vol.56:15-39. 2005.
51. PUSCHENREITER M; STOGER G; LOMBIL E. **Phytoextraction of heavy metal contaminated soil with *Thlaspi goesingense* and *Amaranthus hybridus*.** *Soil Sci.* Vol.164:615-621. 2001.
52. RASKIN, I. y ENSLEY, B.D. **Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment.** Editorial John Wiley and Sons. New York. 2000.
53. REID, R. **Mechanisms of micronutrient uptake in plants.** *Australian Plant Journal Plant Physiology* .Vol.216: 1391-1402.2001
54. RIDA, A.M.M.A. **Trace-element concentration and growth of earthworms and plants in soils with and without cadmium, copper, iron, lead and zinc contamination:interactions of soil and earthworms.** *Soil Biol. Biochem.* Vol.28: 1029-1035. 1996.
55. RITTER, D.F., R.C. KOCHER, and J.R. MILLER, **Métodos para análisis de especies de plantas.** Tercera Edición Editorial WCB McGraw-Hill, Boston. 1998.
56. ROCA FERNANDEZ A. **Contaminación por metales pesados.** Centro de Investigaciones Agrarias INCAGAL2006
57. SALT, D.E., SMITH, R.D. y RASKIN, I. **Phytoremediation.** *Rev. Plants Physiol Plant Mol Biol.* Vol.49:643-668. 1998.
58. SAS-NOWOSIELSKA ET AL.,**The most commonly proposed techniques of phytoextraction crop** Vol.128: 373-379 2004.
59. SUN, Y., ZHOU, Q. y DIAO, Ch. **Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L.** *Bioresource Technology* . Vol. 99: 1103-1110. 2008.

60. TAIZ, L., ZIEGLER, E. **Plant Physiology**. USA. Editorial Inc.Sunderland.23rd Edition 2002.
61. THOMAS, S.A., BECKER, P., PINZA, M.R., y WORD, J.Q. **Mycoremediación: A method for test to pilot-scale appplication**. In:Phytoremediation and Innovative strategies for specialized remedial applications. Editorial Leeson, A., y Alleman. 1999.
62. TLUSTOS, P., PAVLÍKOVÁ, D., SZÁKOVÁ, J., y BALÍK, J. **Plant accumulation capacity for potentially toxic elements**. In: Phytoremediation of metal Soils. Editorial Springer. Vol.3: 53-84. 2006.
63. USEPA (United State Environmental Agency). **Residential lead hazard standards, office of pollution prevention and toxic**. 2001.
64. VELASCO TREJO JUAN, DE LA ROSA PEREZ DAVID Y RAMIREZ ISLAS MARTHA. Informe anual: Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Dirección de Investigación en Residuos y Sitios Contaminados y Sustancias Tóxicas del Instituto de Ecología, México, 2005.
65. VELAZCO, **Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo**. Universidad Autónoma de Chapingo. 1983
66. VYSLOUZILOVA, M et al. **As, Cd, Pb and Zn uptake by different Salix spp. Grown at soils enriched by high loads of the elements**. 2003.
67. WILLIAMSON, N.A., JOHNSON, M.S. y BRADSHAW, A.D. **Mine Wastes Reclamation**. *Mining Journal Books*. Vol. 1:103. 1982.
68. WHITFIELD, M. y ZEEB, B.A. **Application of Phytotechnologies for Cleanup ofIndustrial, Agricultural and Wastewater Contamination**. Editorial Kulakow, P. y Pidlisnuyuk, V. Springer. Tercera Edición.2010.
69. WONG, M. H. **Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils**. *Chemosphere* .Vol.50: 775-780.2003

70. WU, L. y ANTONOVICS, J. **Experimental ecological genetics in Plantago**
II:Lead tolerance in Plantago lanceolata and Cynodon dactylon from a road
side. *Ecology*. Vol. 57:205.1976.
71. XIONG, Z.T. **Bioaccumulation and physiological effects of excess lead in a**
road side pioneer species Sonchus oleraceus L. *Environmental Pollution*
Vol.3: 275-279.1997.
72. YANG, X., BALIGAR, V.C., MARTENS, D.C. y CLARK, R.B. **Influx, transport**
and accumulation of cadmium in plant species grown at different Cd²⁺
activities. *J. Environ. Sci. Health* Vol.30: 569-583. 1995.
73. ZHAO, F.T., HAMON, R.E., LOMBI, E., McLAUGHLIN, M.J., y McGRATH,S.P.
Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of
hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *J.Exp.Bot.* Vol.53: 535-543.2002
74. ZHANG, M., ALVA, A.K., LI, Y.C., y CALVERT. **Chemical association of Cu,**
Zn, Mn and Pb in selected sandy citrus soils. *Soil Sci.* Vol.162:181-188.1997.

Artículos web:

Disponibles en:

1. <http://www.soil.usgs.gov/pubs/circ/1133/heavy-metals.html>
2. <http://www.bioteconologia.com>
3. <http://www.remediación de suelos.com>

Consultada el 10 de agosto del 2012.

4. <http://www.minam.gob.pe/eca para suelos>

Consultada el 20 de abril del 2013.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "EFICACIA DE LA FITOEXTRACCIÓN PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN VILLA DE PASCO"

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	MÉTODO
<p>GENERAL:</p> <p>Cuál es la eficacia de las especies fitoextractoras A, B, C y D en la absorción de metales y si éstas tienen índices aceptables de tolerancia a los metales como la bioconcentración y el factor de remediación que permiten remediar los suelos de Villa de Pasco que están contaminados por elementos metálicos producidos por la actividad minera en la zona, durante los meses de enero a julio del 2012?</p> <p>ESPECÍFICOS:</p> <p>1. Qué tan eficaz es el Sonchus oleraceus (especie A), Lepidium bipinnatifidum (especie B), plantago orbignyana (especie C) y el Bidens triplinervia (especie D), para la absorción de los metales arsénico, cadmio, plomo y zinc, que contaminan los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012?</p> <p>2.Cuál es el índice de bioconcentración de las especies A, B, C y D, que permitan remediar los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012?</p> <p>3.Cuál es el factor de remediación de las especies A, B, C y D de los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012?</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Determinar las especies fitoextractoras más eficaces para remediar los suelos contaminados por elementos metálicos, producidos por la actividad minera en Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.</p> <p>ESPECÍFICOS:</p> <p>1. Evaluar la eficacia de Sonchus oleraceus (especie A), Lepidium bipinnatifidum (especie B), Plantago orbignyana (especie C) y el Bidens triplinervia (especie D), para la absorción de los metales arsénico, cadmio, plomo y zinc, que contaminan los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.</p> <p>2. Determinar el índice de bioconcentración de las especies A, B, C y D, de los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.</p> <p>3. Determinar el factor de remediación de las especies A, B, C y D de los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Los suelos de Villa de Pasco que están contaminados por elementos metálicos, producidos por la actividad minera son remediados por las especies fitoextractoras Sonchus oleraceus (especie A), Lepidium bipinnatifidum (especie B), Plantago orbignyana (especie C) y el Bidens triplinervia (especie D), las cuales son más eficaces para la absorción de los metales As, Cd, Pb y Zn y tienen índices aceptables de tolerancia a los metales, durante los meses de enero a julio del 2012.</p> <p>ESPECÍFICOS:</p> <p>1. En la remediación de los suelos de Villa de Pasco, el Sonchus oleraceus (especie A) es más eficaz para absorber arsénico, el Lepidium bipinnatifidum (especie B) es más eficaz para absorber cadmio, el plantago orbignyana (especie C) es más eficaz para absorber plomo y el Bidens triplinervia (especie D) es más eficaz para absorber zinc, de los suelos de Villa de Pasco, durante los meses de enero a julio del 2012.</p> <p>2. En la remediación de los suelos de Villa de Pasco, las especies A, B, C y D tienen un índice de bioconcentración mayor que la unidad, durante los meses de enero a julio del 2012.</p> <p>3. En la remediación de los suelos de Villa de Pasco, las especies A, B, C y D tienen el factor de remediación mayor que la unidad, durante los meses de enero a julio del 2012.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Y: Grado de contaminación por elementos metálicos en los suelos de Villa de Pasco</p> <p>Variable independiente</p> <p>X₁:capacidad de absorción de la especie A</p> <p>X₂:capacidad de absorción de la especie B</p> <p>X₃:capacidad de absorción de la especie C</p> <p>X₄:capacidad de absorción de la especie D</p>	<p>Elementos Metálicos</p> <p>Índice de tolerancia a los metales</p>	<p>- Concentración de arsénico, cadmio, plomo y zinc en los suelos de Villa de Pasco.</p> <p>- Índice de bioconcentración de la especie A.</p> <p>- Factor de remediación de la especie A</p> <p>- Índice de bioconcentración de la especie B</p> <p>- Factor de remediación de la especie B</p> <p>- Índice de bioconcentración de la especie C</p> <p>- Factor de remediación de la especie C</p> <p>- Índice de bioconcentración de la especie D</p> <p>- Factor de remediación de la especie D</p>	<p>¿Cuál es la concentración del arsénico?</p> <p>¿Cuál es la concentración del cadmio?</p> <p>¿Cuál es la concentración del plomo?</p> <p>¿Cuál es la concentración del zinc?</p> <p>¿Cuál es el índice de la bioconcentración y el factor de remediación de la especie A?</p> <p>¿Cuál es el índice de la bioconcentración y el factor de remediación de la especie B?</p> <p>¿Cuál es el índice de la bioconcentración y el factor de remediación de la especie C?</p> <p>¿Cuál es el índice de la bioconcentración y el factor de remediación de la especie D?</p>	<p>- Determinación de población y muestra</p> <p>-Muestreo</p> <p>- Unidad de análisis</p> <p>-Obtención de muestras</p> <p>- Estaciones de muestreo</p> <p>-Tratamiento de muestras de suelos y plantas</p> <p>-Análisis químicos</p> <p>-Tratamiento estadístico y análisis de datos</p>

INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA DE MUESTREO

MONITOREO 1	
Lugar: <i>Villa de Pasco</i>	Fecha: 07-05-12
Temperatura ambiental: 14°C	Temperatura del suelo: 8,8°C
Número de la estación: E1	Distancia de la mina a la estación: 10m
Área de la estación: 0,648 m ²	Profundidad: 0-20cm
Muestra de suelo: 1kg.	Parámetros:
Clima:	pH: 5,30 /5,20 = 5,25
<input type="checkbox"/> Lluvia fuerte	Conductividad: 0,64 dS/m
<input type="checkbox"/> Lluvia ligera	Especies: A, B, C y D
<input type="checkbox"/> Lluvia intermitente	N° de plantas de la especie A: 6
<input type="checkbox"/> Nublado	N° de plantas de la especie B: 6
<input type="checkbox"/> Soleado/Despejado	N° de plantas de la especie C: 6
Observaciones:	N° de plantas de la especie D: 6
<i>Calibración de los equipos normal</i>	

Fuente: Autoría propia, CGAC.

FICHA DE MUESTREO

MONITOREO 2	
Lugar: <i>Villa de Pasco</i>	Fecha: 07-05-12
Temperatura ambiental: 13,2°C	Temperatura del suelo: 8,5 °C
Número de la estación: E2	Distancia de la mina a la estación: 10m
Área de la estación: 0,650 m ²	Profundidad: 0-20cm
Muestra de suelo: 1kg.	Parámetros:
Clima:	pH: 5,51 /5,31 = 5,41
<input type="checkbox"/> Lluvia fuerte	Conductividad: 0,71 dS/m
<input type="checkbox"/> Lluvia ligera	Especies: A,B,C y D
<input type="checkbox"/> Lluvia intermitente	N° de plantas de la especie A: 6
<input type="checkbox"/> Nublado	N° de plantas de la especie B: 6
<input type="checkbox"/> Soleado/Despejado	N° de plantas de la especie C: 6
Observaciones:	N° de plantas de la especie D: 6
<i>Calibración de los equipos normal</i>	

Fuente: Autoría propia, CGAC.

FICHA DE MUESTREO

MONITOREO 3	
Lugar: <i>Villa de Pasco</i>	Fecha: 07-05-12
Temperatura ambiental: 13,6°C	Temperatura del suelo: 9,2°C
Número de la estación: <i>E3</i>	Distancia de la mina a la estación: <i>20m</i>
Área de la estación: <i>0,680 m²</i>	Profundidad: <i>0-20cm</i>
Muestra de suelo: <i>1kg.</i>	Parámetros:
Clima:	pH: <i>5,75 / 5,85 = 5,80</i>
<input type="checkbox"/> Lluvia fuerte	Conductividad: <i>0,48 dS/m</i>
<input type="checkbox"/> Lluvia ligera	Especies: <i>A, B, C y D</i>
<input type="checkbox"/> Lluvia intermitente	N° de plantas de la especie A: <i>6</i>
<input type="checkbox"/> Nublado	N° de plantas de la especie B: <i>6</i>
<input type="checkbox"/> Soleado/Despejado	N° de plantas de la especie C: <i>6</i>
Observaciones:	N° de plantas de la especie D: <i>6</i>
<i>Se calibra nuevamente los equipos</i>	

Fuente: Autoría propia, CGAC.

FICHA DE MUESTREO

MONITOREO 4	
Lugar: <i>Villa de Pasco</i>	Fecha: 07-05-12
Temperatura ambiental: 13,5°C	Temperatura del suelo: 8,7°C
Número de la estación: <i>E4</i>	Distancia de la mina a la estación: <i>30m</i>
Área de la estación: <i>0,650 m²</i>	Profundidad: <i>0-20cm</i>
Muestra de suelo: <i>1kg.</i>	Parámetros:
Clima:	pH: <i>5,80 /5,78 = 5,79</i>
<input type="checkbox"/> Lluvia fuerte	Conductividad: <i>0,77 dS/m</i>
<input type="checkbox"/> Lluvia ligera	Especies: A,B,C y D
<input type="checkbox"/> Lluvia intermitente	N° de plantas de la especie A: <i>6</i>
<input type="checkbox"/> Nublado	N° de plantas de la especie B: <i>6</i>
<input type="checkbox"/> Soleado/Despejado	N° de plantas de la especie C: <i>6</i>
Observaciones:	N° de plantas de la especie D: <i>6</i>
<i>Calibración de los equipos normal</i>	

Fuente: Autoría propia, CGAC.

FICHA DE MUESTREO

MONITOREO 5	
Lugar: <i>Villa de Pasco</i>	Fecha: <i>07-05-12</i>
Temperatura ambiental: <i>13,5°C</i>	Temperatura del suelo: <i>8,9°C</i>
Número de la estación: <i>E5</i>	Distancia de la mina a la estación: <i>30m</i>
Área de la estación: <i>0,650 m²</i>	Profundidad: <i>0-20cm</i>
Muestra de suelo: <i>1kg.</i>	Parámetros:
Clima:	pH: <i>6,02 /6,04 = 6,03</i>
<input type="checkbox"/> Lluvia fuerte	Conductividad: <i>0,59 dS/m</i>
<input type="checkbox"/> Lluvia ligera	Especies: <i>A,B,C y D</i>
<input type="checkbox"/> Lluvia intermitente	N° de plantas de la especie A: <i>6</i>
<input type="checkbox"/> Nublado	N° de plantas de la especie B: <i>6</i>
<input type="checkbox"/> Soleado/Despejado	N° de plantas de la especie C: <i>6</i>
Observaciones:	N° de plantas de la especie D: <i>6</i>
<i>Calibración de los equipos normal</i>	

Fuente: Autoría propia, CGAC.

FICHA DE MUESTREO

MONITOREO 6	
Lugar: <i>Villa de Pasco</i>	Fecha: 07-05-12
Temperatura ambiental: 13,7°C	Temperatura del suelo: 9,2°C
Número de la estación: E6	Distancia de la mina a la estación: 40m
Área de la estación: 0,645 m ²	Profundidad: 0-20cm
Muestra de suelo: 1kg.	Parámetros:
Clima:	pH: 6,22 /6,30 = 6,26
<input type="checkbox"/> Lluvia fuerte	Conductividad: 0,39 dS/m
<input type="checkbox"/> Lluvia ligera	Especies: A, B, C y D
<input type="checkbox"/> Lluvia intermitente	N° de plantas de la especie A: 6
<input type="checkbox"/> Nublado	N° de plantas de la especie B: 6
<input type="checkbox"/> Soleado/Despejado	N° de plantas de la especie C: 6
Observaciones:	N° de plantas de la especie D: 6
<i>Se realizó dos veces la calibración de los equipos.</i>	

Fuente: Autoría propia, CGAC.

GRÁFICOS ESTADÍSTICOS

GRAFICOS DE PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE ARSÉNICO EN LAS ESPECIES

GRÁFICO N° 1
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE As
EN LA ESPECIE A

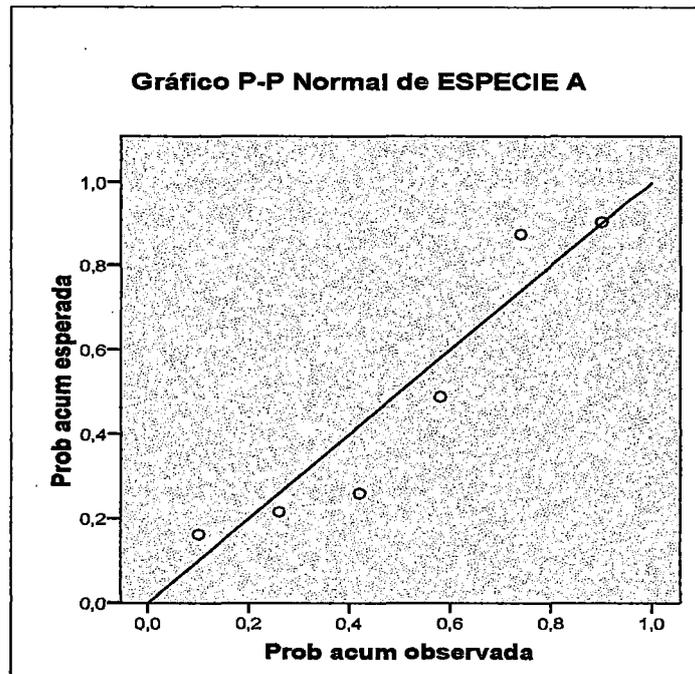


GRÁFICO N° 2
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE As
EN LA ESPECIE B

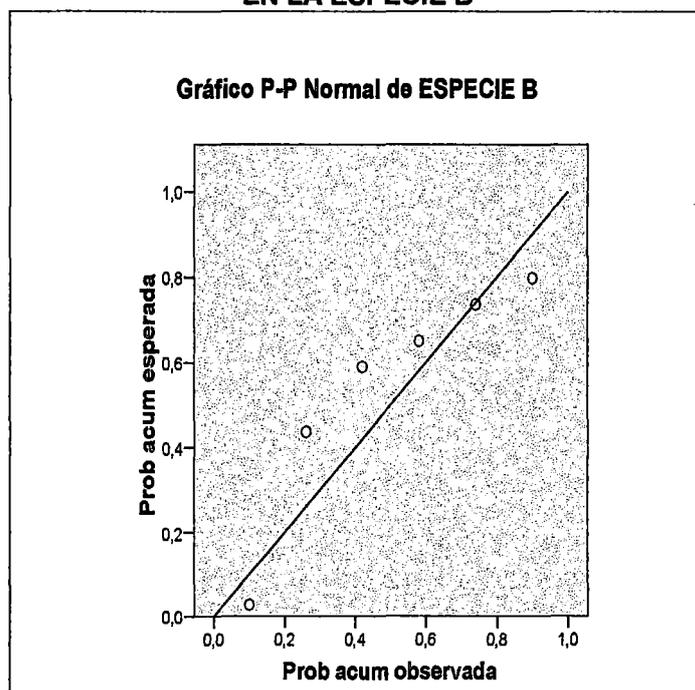


GRÁFICO N° 3
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE As
EN LA ESPECIE C

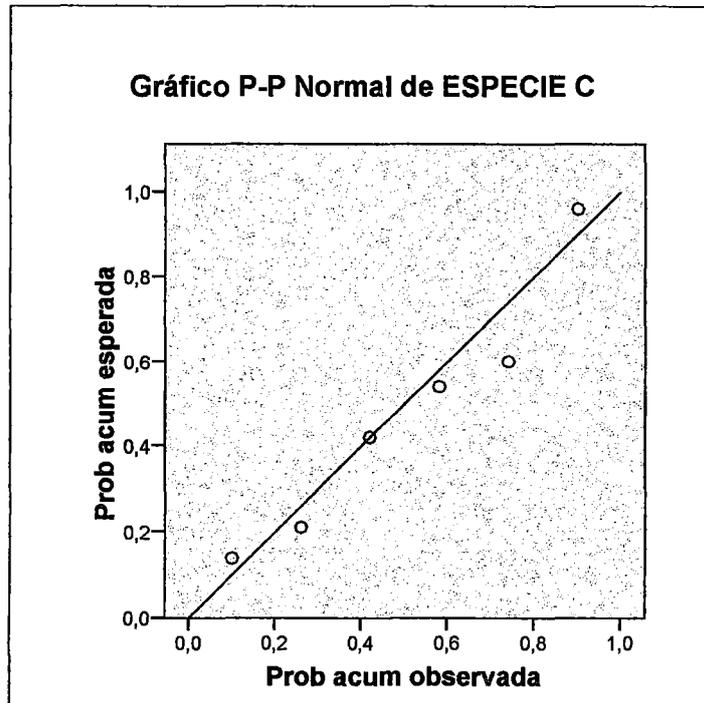
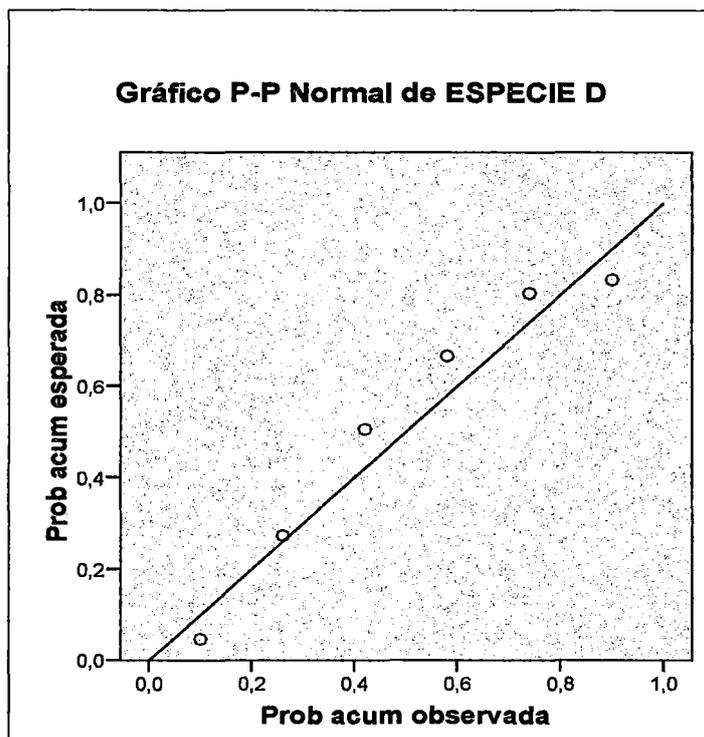


GRÁFICO N° 4
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE As
EN LA ESPECIE D



GRÁFICOS DE PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE CADMIO EN LAS ESPECIES

GRÁFICO N° 5
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Cd
EN LA ESPECIE A

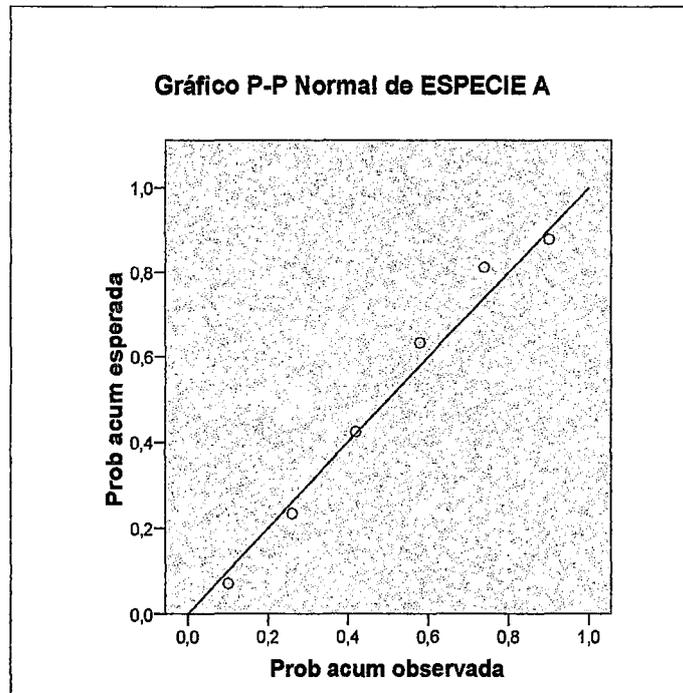


GRÁFICO N° 6
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Cd
EN LA ESPECIE B

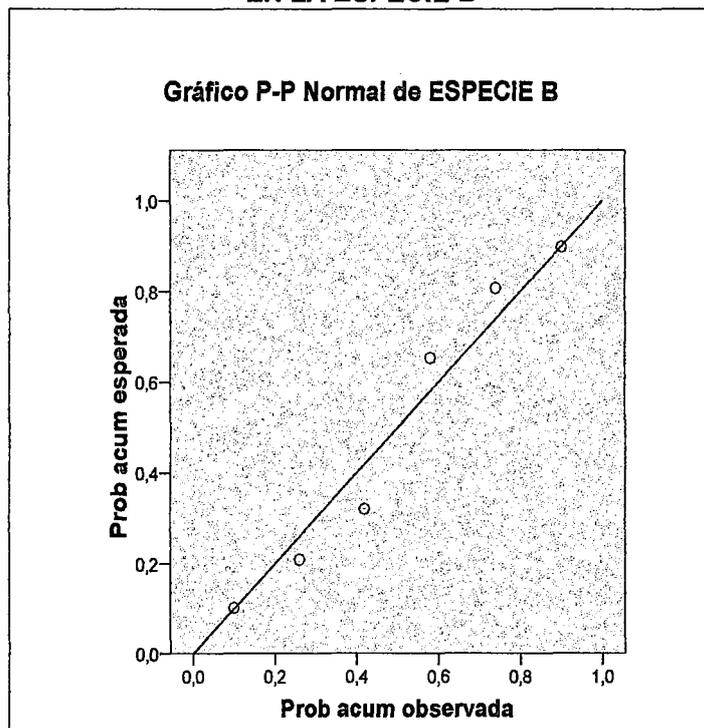


GRÁFICO N° 7
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Cd
EN LA ESPECIE C

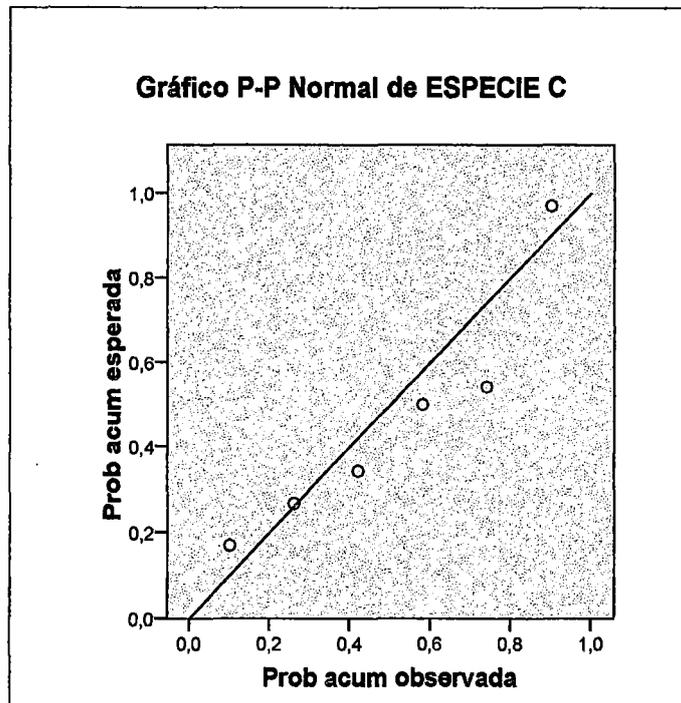
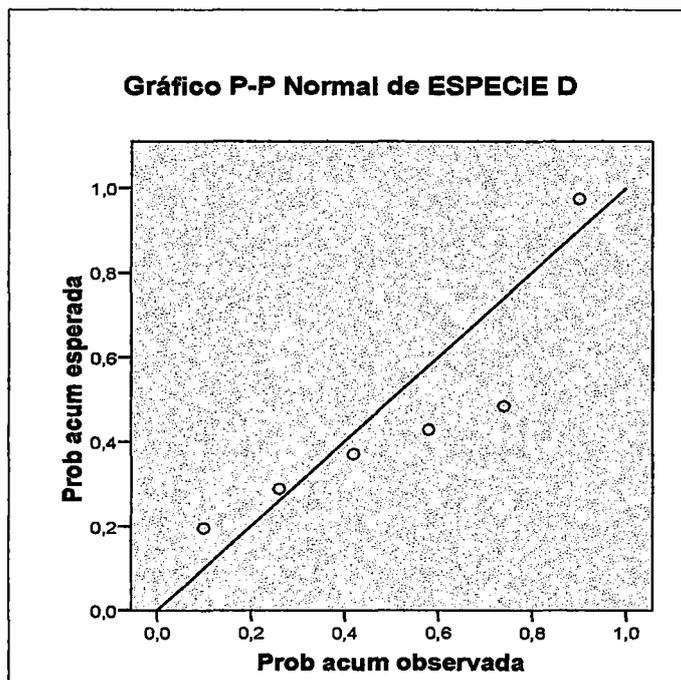


GRÁFICO N° 8
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Cd
EN LA ESPECIE D



GRÁFICOS DE PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE PLOMO EN LAS ESPECIES

GRÁFICO N° 9
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Pb
EN LA ESPECIE A

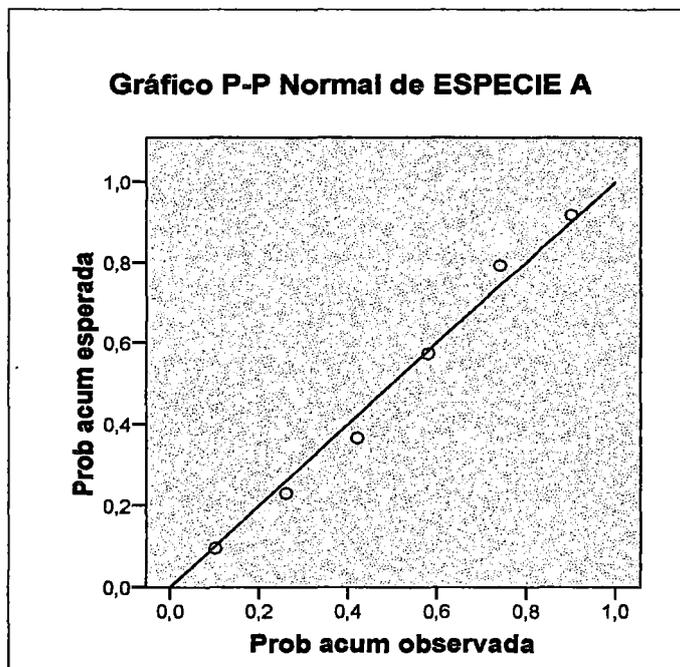


GRÁFICO N° 10
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Pb
EN LA ESPECIE B

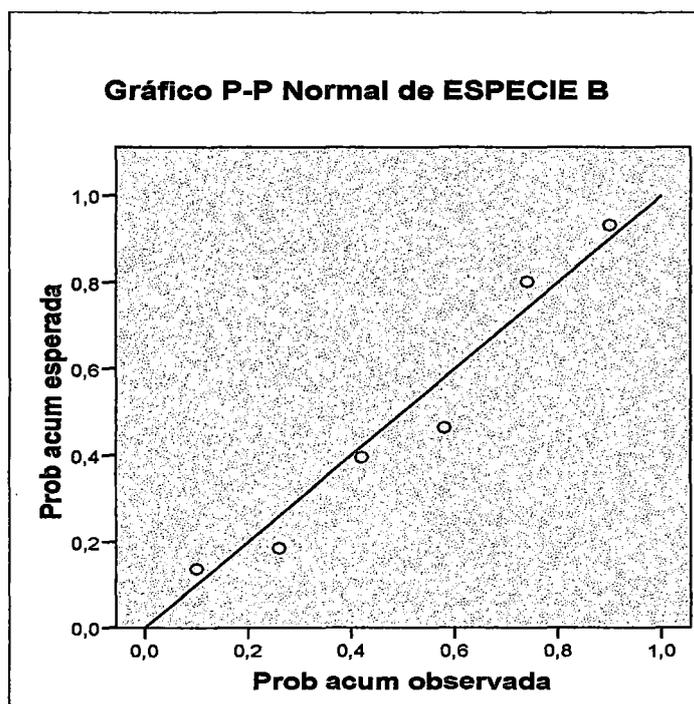


GRÁFICO N° 11
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Pb
EN LA ESPECIE C

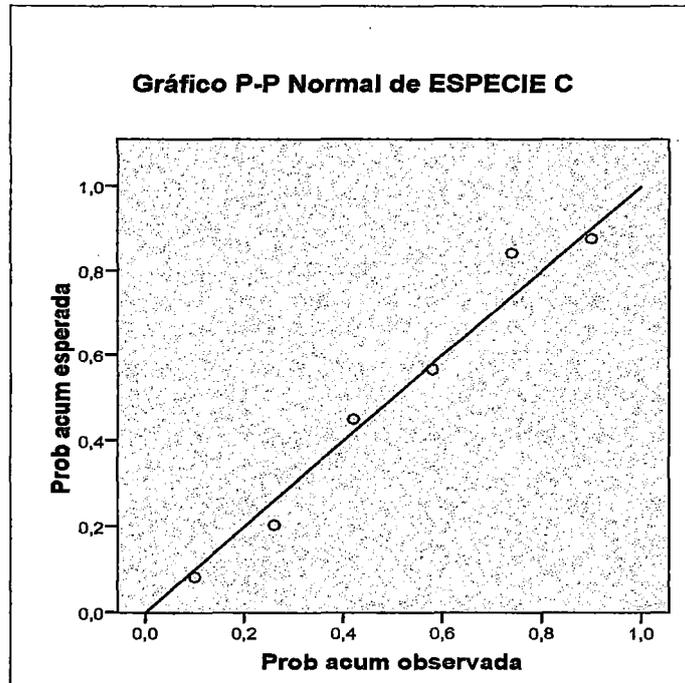
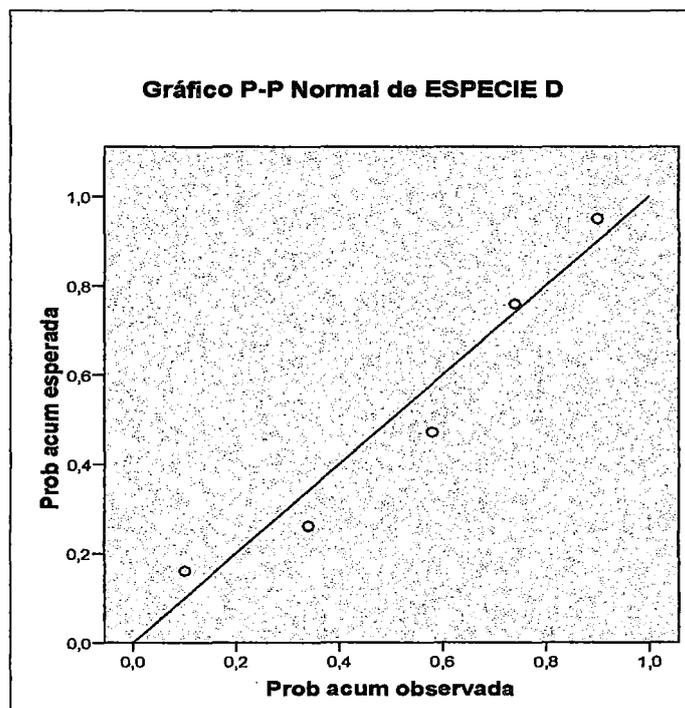


GRÁFICO N° 12
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Pb
EN LA ESPECIE D



GRÁFICOS DE PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE ZINC EN LAS ESPECIES

GRÁFICO N° 13
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Zn
EN LA ESPECIE A

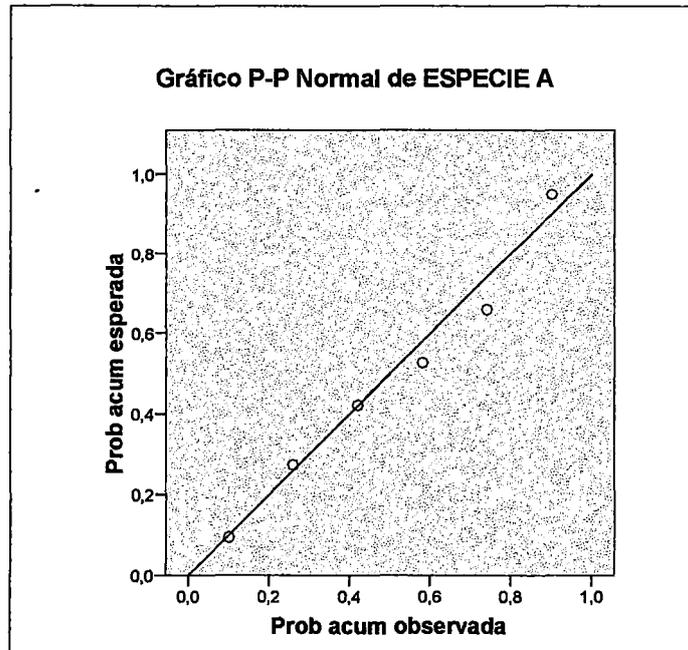


GRÁFICO N° 14
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Zn
EN LA ESPECIE B

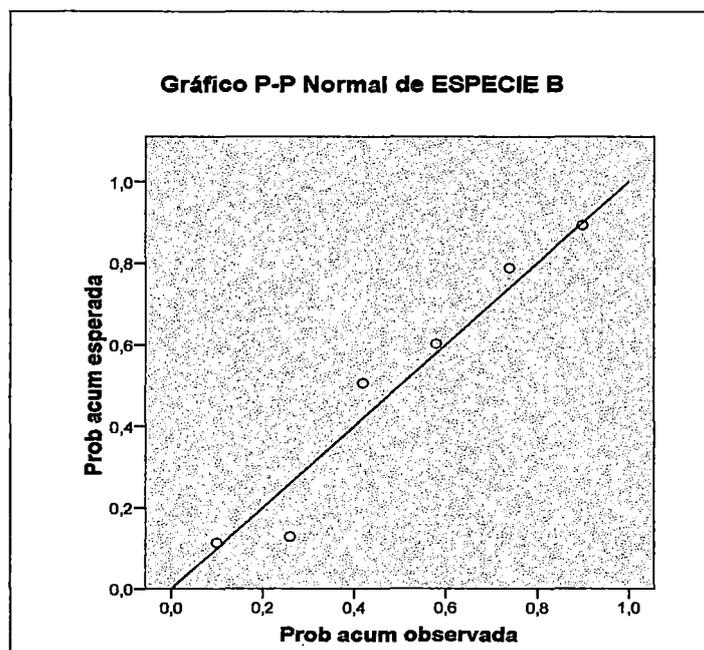


GRÁFICO N° 15
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Zn
EN LA ESPECIE C

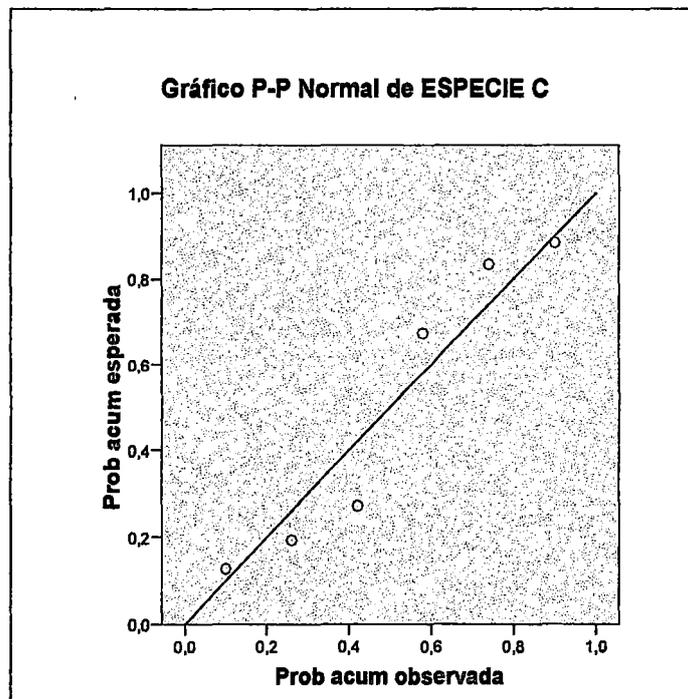
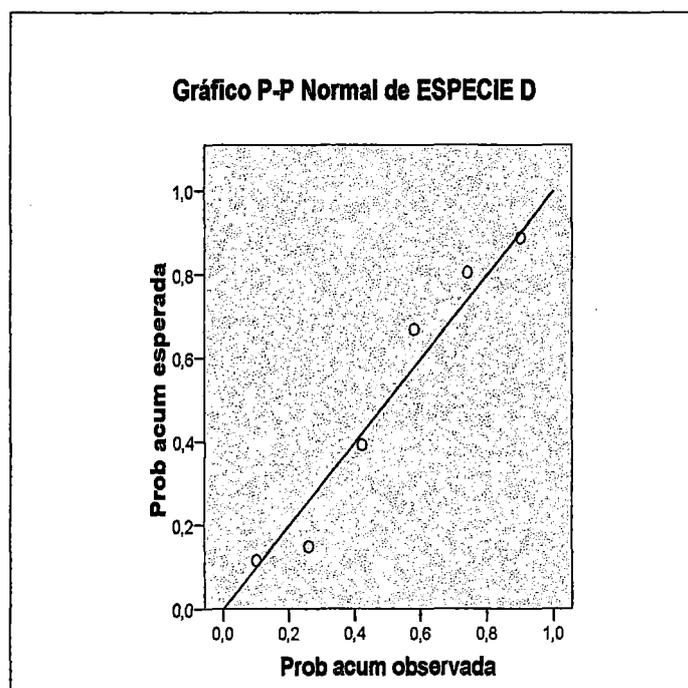


GRÁFICO N° 16
PROBABILIDAD NORMAL PARA LA ABSORCIÓN DE Zn
EN LA ESPECIE D



de Personal (PAP), podrá aprobarse mediante Resolución del Titular de la Entidad, previo informe del órgano que tiene a su cargo las acciones de racionalización administrativa, que en el caso de la Autoridad Nacional del Agua es la Oficina de Planeamiento y Presupuesto;

Que, conforme a dichas consideraciones y estando a lo establecido en el artículo 4º del Texto Único Ordenado de la Ley Orgánica del Poder Judicial, que señala: "Toda persona y autoridad está obligada a acatar y dar cumplimiento a las decisiones judiciales o de índole administrativa, emanadas de autoridad judicial competente, en sus propios términos, sin poder calificar su contenido o sus fundamentos (...)", por lo que corresponde se dicte el acto resolutorio correspondiente;

Con los vistos de las Oficinas de Planeamiento y Presupuesto, de Administración y de Asesoría Jurídica; así como de la Secretaría General; y en uso de las facultades conferidas en el artículo 11º del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG;

SE RESUELVE:

Artículo 1º.- Reordenamiento de cargos del CAP

Aprobar el reordenamiento de cargos del Cuadro para Asignación de Personal – CAP de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por Resolución Suprema N° 002-2011-AG, y reordenado por Resolución Jefatural N° 570-2011-ANA; conforme al Anexo que forma parte integrante de la presente Resolución.

Artículo 2º.- Difusión y Publicación

2.1 Disponer la publicación de la presente Resolución Jefatural en el Diario Oficial El Peruano.

2.2 Encargar a la Oficina del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos que publique la presente Resolución Jefatural en el Portal Institucional de la Autoridad Nacional del Agua (www.ana.gob.pe) y coordine su publicación en el Portal del Estado Peruano (www.peru.gob.pe).

Regístrese, comuníquese y publíquese.

HUGO EDUARDO JARA FACUNDO
Jefe
Autoridad Nacional del Agua

915768-1

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 2º 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 3º 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;

Que, el artículo 31º 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 7º 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 7º 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 118º de la Constitución Política del Perú.

DECRETA:

Artículo 1º.- 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 2º.- 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 3º.- Definiciones

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

Artículo 4º.- Prohibición de mezcla de suelos

Prohíbese 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 5º.- 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

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 para 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.



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°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial/Parques	Suelo Comercial/Industrial/Extractivos	
I Orgánicos					
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)	1200	1200	5000	EPA 8015-M
8	Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS)	3000	3000	6000	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	Aldrín (mg/kg MS) ₍₁₎	2	4	10	EPA 8270-D
12	Endrín (mg/kg MS) ₍₁₎	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
13	DDT (mg/kg MS) ₍₁₎	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
14	Heptacloro (mg/kg MS) ₍₁₎	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
II Inorgánicos					
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) ₍₂₎	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
17	Bario total (mg/kg MS) ₍₂₎	750	500	2000	EPA 3050-B EPA 3051
18	Cádmio total (mg/kg MS) ₍₂₎	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) ₍₂₎	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
21	Plomo total (mg/kg MS) ₍₂₎	70	140	1200	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 (C₅ a C₁₀). 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 (C₁₀ a C₂₈). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, 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 (C₂₈ a C₄₀). 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,

sola o en combinaciones, son: acciones de remediación para la eliminación de los contaminantes del sitio, acciones para evitar la dispersión de los contaminantes, acciones para el control del uso del suelo, y acciones para monitoreo del sitio contaminado. La presentación del Plan de Descontaminación de Suelos no exime de la responsabilidad de elaborar y presentar ante la autoridad competente, los demás instrumentos de gestión ambiental propios de la actividad.

Parámetro: Cualquier elemento o sustancia química del suelo que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.

Remediación: Tarea o conjunto de tareas a desarrollarse en un sitio contaminado con la finalidad de eliminar o reducir contaminantes, a fin de asegurar la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas.

Sitio contaminado: Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores represente un riesgo a la salud humana o el ambiente.

Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

Suelo agrícola: Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

Suelo comercial: Suelo en el cual, la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

Suelo industrial/extractivo: Suelo en el cual, la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

Suelo residencial/parques: Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas: incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

916305-1

Declaran en Emergencia Ambiental la cuenca del río Pastaza, en los distritos de Andoas y Pastaza, provincia del Datem del Marañón, departamento de Loreto

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 094-2013-MINAM

Lima, 22 de marzo de 2013

Visto, el Informe N° 0038-2013-DGCA-VMGA/MINAM y el Informe N° 0043-2013-DGCA-VMGA/MINAM, de la Dirección General de Calidad Ambiental del Viceministerio de Gestión Ambiental, que contienen el Informe Técnico N° 162-2013-DGCA-VMGA/MINAM y el Informe Técnico N° 0177-2013-DGCA-VMGA/MINAM, respectivamente, y demás antecedentes; y,

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 28° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que en caso de ocurrencia de un daño ambiental súbito y significativo ocasionado por causas naturales o tecnológicas, el Consejo Nacional del Ambiente - CONAM, en coordinación con el Instituto Nacional de Defensa Civil y el Ministerio de Salud u otras entidades con competencia ambiental, debe declarar la Emergencia Ambiental y establecer planes especiales en el marco de esta Declaratoria;

Que, según la Tercera Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del

Ambiente, toda referencia hecha al Consejo Nacional del Ambiente - CONAM, o a las competencias, funciones y atribuciones que éste venía ejerciendo, se entenderá como efectuada al Ministerio del Ambiente;

Que, el segundo párrafo del artículo 1° de la Ley N° 28804, Ley que regula la Declaratoria de Emergencia Ambiental, modificado por Ley N° 29243, señala que también se considera emergencia ambiental la situación en la cual, no siendo el hecho desencadenante inesperado, la gravedad de sus efectos o impactos en la salud y la vida de las personas o en su entorno ambiental requiera la acción inmediata sectorial a nivel local, regional o nacional;

Que, el numeral 2.1 del artículo 2° de la acotada Ley N° 28804, establece que el Ministerio del Ambiente, de oficio o a pedido de parte, es la autoridad competente que declara la emergencia ambiental, en coordinación con el Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI, el Ministerio de Salud, el Gobierno Regional que corresponda u otras entidades que tienen competencia ambiental;

Que, el Reglamento de la Ley N° 28804, aprobado por el Decreto Supremo N° 024-2008-PCM, regula el procedimiento para la declaratoria de emergencia ambiental;

Que, el objetivo de la Declaratoria de Emergencia Ambiental es garantizar el manejo sostenible de la zona afectada, realizando los correspondientes trabajos de recuperación y remediación para mitigar la contaminación ambiental sin restringir a los titulares de las actividades económicas que cuenten con instrumentos de gestión ambiental aprobados, continúen con sus operaciones, compromisos y responsabilidades adquiridas;

Que, mediante Oficio N° 100-2013-PCM/DM de fecha 15 de marzo de 2013, la Presidencia del Consejo de Ministros solicita al Ministerio del Ambiente considerar la Declaratoria de Emergencia Ambiental en la cuenca del río Pastaza, debido a la gravedad de la situación evidenciada en los informes elaborados en el marco del Grupo de Trabajo Ambiental de la Comisión Multisectorial encargada de analizar, diseñar y proponer medidas que permitan mejorar las condiciones sociales y ambientales de las poblaciones de las cuencas del Pastaza, Tigre, Corrientes y Marañón del departamento de Loreto, creada por Resolución Suprema N° 200-2012-PCM;

Que, a través del Informe Técnico N° 162-2013-DGCA-VMGA/MINAM de 19 de marzo de 2013, ampliado con Informe Técnico N° 177-2013-DGCA-VMGA/MINAM de 22 de marzo de 2013, de la Dirección General de Calidad Ambiental, que se sustenta en la información técnica generada por la Autoridad Nacional del Agua - ANA, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA y la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, en el marco del Grupo de Trabajo Ambiental de la citada Comisión Multisectorial, y demás organismos del sector público y privado involucrados en la problemática ambiental; así como de las coordinaciones llevadas a cabo en reuniones de trabajo entre las instituciones involucradas, recomienda la Declaratoria de Emergencia Ambiental en la cuenca del río Pastaza;

Que en tal sentido, en virtud a los Informes Técnicos a que se refiere el considerado precedentemente y demás documentación relacionada, resulta necesaria la declaración de emergencia ambiental cuenca del río Pastaza, debido a los niveles de riesgo significativo a la salud de la población por las elevadas concentraciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que superan los estándares ambientales nacionales, de acuerdo a lo reportado por la ANA, OEFA y DIGESA, los cuales estarían asociados al impacto ambiental ocasionado por la actividad hidrocarburífera en la zona afectada; por lo que, corresponde emitir la presente resolución;

Con el visado del Viceministerio de Gestión Ambiental, la Secretaría General, la Dirección General de Calidad Ambiental y la Oficina de Asesoría Jurídica;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28804, Ley que regula la Declaratoria de Emergencia Ambiental, su modificatoria Ley N° 29243, y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 024-2008-PCM; el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Declarar en Emergencia Ambiental la cuenca del río Pastaza, en los distritos de Andoas y Pastaza, provincia del Datem del Marañón, departamento de Loreto, por el plazo de noventa (90) días hábiles, contados a partir del día siguiente de la publicación de la presente Resolución Ministerial, por las razones expuestas en la parte considerativa.