

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISION DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE PLOMO EN  
SUELO POR *NicotianaglaucaGraham***

POR:

**HUMBERTO ALTUNAR ALTUNAR**

**TESIS**

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**DICIEMBRE DE 2011**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE PLOMO EN  
SUELO POR *Nicotiana glauca* Graham

TESIS DEL C. HUMBERTO ALTUNAR ALTUNAR QUE SE SOMETE A  
CONSIDERACIÓN DEL COMITE DE ASESORES, COMO REQUISITO  
PARCIAL.

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADO POR:

ASESOR PRINCIPAL:

  
I.I.Q. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

ASESOR:

  
DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

ASESOR:

  
ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR SUPLENTE:

  
DR. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR

  
DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Diciembre del 2011

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE PLOMO EN  
SUELO POR *Nicotiana glauca* Graham**

TESIS DEL C. **HUMBERTO ALTUNAR ALTUNAR** QUE SE SOMETE A  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

APROBADO POR:

PRESIDENTE:



I.I.Q. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

VOCAL:



DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:



ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL SUPLENTE:



DR. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR



DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICA

Torreón, Coahuila, Mexico

Diciembre del 2011

## DEDICATORIAS

A Dios por iluminar mi camino y darme los conocimientos necesarios para lograr alcanzar mis sueños.

Jorge Altunar Altunar y Eugenia Altunar Sánchez

Este trabajo final es para mis padres a quienes amo y admiro por darme la vida y hacer de mí una persona con valores, les doy las gracias por apoyarme en todos los momentos difíciles de mi vida y a pesar de las adversidades siempre pude contar con ustedes, por este y otras cosas los admiro y respeto.

A mis hermanos, Pablo, Jorge, Erika, Ma. Leticia, Alexis, Nayeli; por compartir tantos momentos agradables y divertidos, por estar siempre juntos en las buenas y en las malas gracias por ser mis hermanos.

A mis abuelos, Máximo Altunar, Gregoria Altunar, Pablo Altunar, Verónica Sánchez; por compartir tantos momentos agradables y divertidos, por estar siempre juntos en las buenas y en las malas gracias por ser mis abuelos

A mis tíos, Roque, Francisco, Dionisio, Carlos, por ser parte de mi familia y haberme brindado su cariño y amistad y compartir momentos agradables y desagradables en mi vida.

A mis tías, Luvia, Virginia, Esmeralda, Juana por ser parte de mi familia y haberme brindado su cariño y amistad y compartir momentos agradables y desagradables en mi vida.

A mis sobrinos, Viviana, Jaqueline, Wendy, Jean Carlos, Bárbara, Ezequiel, Franklin, Eliomar, Nadia, Yazmin, a todos ustedes gracias por compartir su vida y alegría conmigo.

## AGRADECIMIENTOS

A mi **ALMA MATER** por todas las facilidades y oportunidades que me brindó durante mi estadía en esta institución y haberme otorgado la oportunidad de ser parte de una de las tantas generaciones que culminan satisfactoriamente sus estudios profesionales.

Al I.I.Q. Elba Margarita Aguilar Medrano, por ser una gran persona y amiga, por enseñarme los valores esenciales que hay que tener presente como persona y profesionista y sobre todo por ser parte importante durante mi formación ya que ha contribuido con este trabajo final para culminar mi preparación académica.

Al Ing. Joel Limones Avitia, por ser un gran amigo y consejero, por estar presente en los momentos más difíciles durante mi trayectoria académica y por ser parte fundamental de este trabajo.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo, por dedicar su tiempo a este trabajo y proporcionar sus conocimientos para el término correcto de este trabajo.

Al Dr. Luis Javier Herмосillo Salazar, por dedicar su tiempo a este trabajo y proporcionar sus conocimientos para el término correcto de este trabajo.

Al TQI José Silverio Alvarez Valadez y TQI Juan Carlos Mejía Cruz por dedicar su tiempo a este trabajo y proporcionar sus conocimientos para el término correcto de este trabajo.

A la QFB Norma Lydia Rangel Carrillo, por dedicar su tiempo a este trabajo y proporcionar sus conocimientos para el término correcto de este trabajo.

A todos ustedes y a aquellos que de manera voluntaria e involuntaria han contribuido a mi formación profesional les doy las gracias de todo corazón y que Dios los bendiga siempre.

## INDICE GENERAL

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	vi
I.- INTRODUCCION .....	1
<b>1.1 OBJETIVO</b> .....	4
<b>1.1.1 Objetivo general</b> .....	4
1.1.2 Objetivo específico .....	4
1.1.3 Hipótesis .....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Panorama de la problemática ambiental.....	5
2.1.1 Contaminación del aire.....	5
2.1.2 Contaminación del agua.....	6
2.1.3 Contaminación del suelo .....	7
2.1.4 Fuentes de contaminación.....	7
2.2 Situación de la comarca lagunera.....	8
2.3 El Plomo .....	9
2.3.1 Plomo en la naturaleza .....	9
2.3.2 Permanencia del plomo en el ambiente.....	10
2.3.3 Absorción del plomo.....	11
2.3.4 Efecto del plomo a la salud.....	11
2.3.5 Normatividad para plomo .....	12
2.4 Remedación.....	13
2.4.1 Elementos para la elección de técnicas de remediación de suelos contaminados .....	14
2.4.2 Clasificación de las técnicas de remediación.....	14
2.4.2.1 Biorremediación.....	14
2.4.2.2 Bioestimulación.....	15
2.4.2.3 Biolabranza .....	15
2.5 Fitorremediación .....	16

2.5.1 Diferentes categorías de la fitorremediación.....	17
2.5.1.1 Fitoextracción.....	18
2.5.1.2 Rizofiltración.....	18
2.5.1.3 Fitoestabilización.....	19
2.5.1.4 Fitoestimulación.....	19
2.5.1.5 Fitovolatilización.....	19
2.5.1.6 Fitodegradación.....	20
2.5.2 Proceso de entrada de los metales pesados en la planta.....	20
2.5.3 Características de una planta hiperacumuladora.....	20
2.5.4 Ventajas de la fitorremediación.....	21
2.5.5 Desventaja de la fitorremediación.....	22
2.5.6 Métodos de remediación de suelo.....	22
2.5.7 Plantas remediadoras.....	24
2.5.7.1 <i>Nicotiana glauca</i> Graham.....	26
III. MATERIALES Y METODOS.....	28
3.1 Establecimiento del trabajo.....	28
3.2 Preparación de sustrato.....	28
3.3 Especie vegetal.....	28
3.3.1 Producción de planta.....	29
3.3.2 Trasplante.....	29
3.3.3 Riego.....	29
3.4 Análisis de muestras.....	29
3.4.1 Agua.....	29
3.4.2 De Vegetal.....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1 Resultado de análisis físico-químico de arena.....	31
4.2 Resultado de análisis físico-químico de suelo.....	32
4.3 Resultado de Análisis de plomo ( mg/l) del suelo antes y después del experimento. .....	33
4.4 Resultado de análisis del agua de riego.....	34
4.5 Resultado de Análisis de Plomo (mg/Kg) en diferentes partes de la planta <i>Nicotiana glauca</i> Graham en diferentes meses.....	35

V. CONCLUSIONES.....	38
VI. RECOMENDACIONES.....	39
VII. LITERATURA CITADA.....	40



## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la capacidad de absorción de plomo en suelo por la especie vegetal *Nicotiana glauca* Graham en sus diferentes partes (raíz, tallo y hoja), esto con el fin de saber si puede considerarse una especie hiperacumuladora de plomo y por lo tanto poder utilizarse como fitorremediadora de suelo contaminado. Se llevó a cabo la germinación de la especie elegida y posteriormente el trasplante a macetas con suelo contaminado, aplicándoles solamente un tratamiento (sustrato formado con suelo contaminado con metales pesado por la Industria Met-Mex Peñoles, tomado del parque ecológico ubicado sobre la calzada Ignacio Comonfort y Raúl Madero, en Torreón, Coah.). Se analizó: el sustrato antes y después del experimento, el agua de riego, la planta (raíz, tallo y hoja). El trabajo experimental se estableció en el área de sombreadero en el departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Torreón Coahuila. Se evaluó la capacidad de absorción de plomo de la especie durante 5 meses, tomando dos muestras de planta por mes. Obteniendo, en la raíz y tallo una absorción en ascenso en los dos primeros meses, cayendo en el tercer y cuarto mes para volver a subir en el quinto mes, no comportándose igual en la hoja, que presentó un descenso en los primeros cuatro meses para aumentar ligeramente en el quinto mes. Al final del trabajo se recomienda utilizar a la planta *Nicotiana glauca* Graham como fitorremediadora de suelos contaminados con plomo, pues demostró absorber gran cantidad de plomo en su biomasa, además de ser altamente resistente y adaptable a climas adversos.

**Palabras Clave:** Fitorremediación, Suelo, Agua, Planta y Nutrientes.

## I. INTRODUCCION

La contaminación es uno de los problemas más grave a nivel mundial. La creciente urbanización, la industria, la agricultura con excesivo uso de pesticidas y fertilizantes, la deforestación, la producción de energía y los hábitos de consumo han producido una enorme cantidad de sustancia que contaminan el agua, el suelo, la vegetación y la atmosfera (Montaño-Arias *et al.*, 2007).

En las últimas décadas se ha hecho un gran esfuerzo para reducir las emisiones de procesos industriales, vehículos, generación eléctrica, emisiones domésticas y agrícolas. Sin embargo la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos que evoluciona de manera paralela al desarrollo industrial y social, exige cada vez más tecnología para minimizar los efectos adversos en los ecosistemas y en bienes de naturaleza diversa (Querol, 2008).

El aprovechamiento de los recursos naturales (maderas, minerales, agua, etc.) ha sido base fundamental para el desarrollo de la humanidad. Como resultado de la tecnificación de los procesos de producción a partir de la revolución industrial (1750 d.C.), el uso de estos recursos se incrementó, y en consecuencia, también se comenzaron a generar grandes volúmenes de desechos industriales y urbanos. Estos desechos, debido al lento desarrollo y a la ineficiencia de las técnicas de manejo, han generado una gran cantidad de sitios contaminados con metales pesados, compuestos orgánicos y otros materiales peligrosos (Rosa-Pérez *et al.*, 2007).

La contaminación del agua, aire, suelo y alimentos es la consecuencia de las actividades que el hombre ha desarrollado para vivir y mejorar su calidad de vida. Sin embargo, el hombre se ha olvidado de vivir en armonía con la naturaleza y de cuidarla. Hoy tenemos un sinnúmero de sustancias químicas y biológicas en el ambiente que significan un riesgo para la salud porque se encuentran en altas concentraciones o debido a su naturaleza tóxica (Chung, 2008).

Los efectos desfavorables de los contaminantes en el suelo como sistema son la afectación de su ciclo biogeoquímico y su función de biofiltro; la disminución

cualitativa y cuantitativa del crecimiento de microorganismos; la disminución del rendimiento de los cultivos; la contaminación de las aguas superficiales y freático por procesos de transferencia y la disminución de las funciones de soporte de actividades de ocio (Arroyave *et al.*, 2009).

El desarrollo de determinadas actividades industriales puede construir un riesgo moderado de contaminantes ambiental. Dicho riesgo no es solo debido a las emisiones atmosféricas sino también a la mala gestión de sus residuos o a un deficiente almacenamiento de las materias primas y sus productos, esto puede ocasionar fugas de componentes que se acumulan en el suelo y como consecuencia, puede aparecer un suelo contaminado. Esta acumulación de contaminantes, ha superado los mecanismos naturales de reciclaje y autodepuración de los sistemas receptoras (Guzmán-Morales *et al.*, 2007).

Los metales pesados son elementos naturales que se encuentran en los ecosistemas acuáticos, debido a procesos naturales tales como la actividad volcánica, la erosión, por desechos industriales y depósitos de aguas residuales. El incremento progresivo en su concentración crea problemas en zonas costeras, lagos y ríos debido a la persistencia de los metales en el medio ambiente (Boada *et al.*, 2007).

En sitios cercanos a minas y fundiciones de metales es común encontrar extensas áreas contaminadas con diversos elementos ecotóxicos, tales como: cobre, cadmio, plomo, arsénico y otros. La mayoría de las plantas no crecen en estos sitios, ya que las altas concentraciones de estos elementos son tóxicas para sus organismos (González *et al.*, 2008).

Los jales mineros representan un riesgo ambiental por la posibilidad de lixiviación e incorporación a cuerpos de agua, así como la movilización a otros ecosistema por dispersión eólica o hídrica (Medel-Reyes *et al.*, 2008).

La reforestación de áreas degradadas ayuda a estabilizar el suelo y es el primer paso en la fitorremediación, que conduce la eliminación de metales pesados en los suelos. El uso de especies pioneras de crecimiento rápido que son capaces de

crecer en suelos pobres contaminados con metales pesados es potencialmente muy útil. Estas plantas son a menudo mejor en términos de supervivencia, crecimiento y reproducción de conformidad con el estrés ambiental. Plantas que crecen en suelos cargados de metales responde por la exclusión, la indicación, o la acumulación de metales (Surat *et al.*, 2008).

Es importante encontrar alternativas que ayuden a eliminar o disminuir la concentración de metales en el suelo, agua y aire.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad de absorción de plomo por *Nicotiana glauca Graham* de suelo contaminado.

### 1.1.2 Objetivo específico

Determinar la cantidad de plomo absorbido por la especie *Nicotiana glauca Graham* a nivel de raíz, tallo y hoja.

### 1.1.3 Hipótesis

La especie vegetal *Nicotiana glauca Graham* tiene capacidad de absorción de plomo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Panorama de la problemática ambiental

Uno de los problemas más serios asociados con el desarrollo industrial de las grandes ciudades es la contaminación ambiental. El plomo ha sido considerado durante muchos años como uno de los principales contaminantes ambientales, debido al extenso uso que durante décadas ha tenido como componente de la gasolina, al ser introducido como antidetonante en la misma (García-Nieto *et al.*, 2011).

Los metales pesados son especies químicas no degradables. Por tal motivo, una vez arrojados al medio ambiente, sólo pueden distribuirse entre los entornos aire, agua, suelo, a veces cambiando su estado de oxidación, o incorporarse a los seres vivos (García-Nieto *et al.*, 2011).

El plomo orgánico, al reaccionar con compuestos halogenados derivados de los aditivos, producen haluros (compuestos clorinados y bromados), que se descomponen en oxicarbonatos que se expelen por los mofles de los automóviles, lo cual ha incrementado desde los años 50 los valores ambientales de este contaminante en grandes ciudades (Fuente *et al.*, 2008).

De acuerdo con estadísticas presentadas por la Procuraduría de Protección al Ambiente, cada año se presenta en México un promedio de 550 sitios contaminados con materiales y residuos peligrosos (PROFEPA, 2007).

#### 2.1.1 Contaminación del aire

La contaminación del aire urbano es una seria amenaza a la salud humana y el ambiente, tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. La rápida urbanización ha resultado en un incremento de las emisiones contaminantes al aire debido al transporte, producción de energía y actividad industrial concentrada en áreas densamente pobladas (Campos *et al.*, 2008).

Los procesos industriales y la utilización de combustibles fósiles liberan a la atmósfera sustancias contaminantes, como óxidos de carbono, nitrógeno, azufre y elementos potencialmente tóxicos (EPT), que pueden contaminar de forma drástica a la atmósfera. Los vientos se encargan de distribuirlos, pero por último se depositan en cuerpos de agua, vegetación y suelo de las zonas aledañas a la ciudad (Barrales *et al.*, 2007).

### **2.1.2 Contaminación del agua**

Durante siglos el hombre ha explotado metales como oro, plata, cobre, zinc, cadmio, entre otros, por este mismo motivo, el agua es considerada con mucha razón la víctima más común del mal manejo de los residuos tóxicos generados por dicha industria (Torres *et al.*, 2007).

La contaminación por compuestos orgánicos de elevada toxicidad supone un importante problema medioambiental. Estos compuestos pueden migrar en profundidad junto con el agua de infiltración dando lugar a la contaminación del agua subterránea. Entre ellos, los que presentan una baja solubilidad y una elevada capacidad de adsorción pueden quedar retenidos en la materia orgánica del suelo y los minerales de la arcilla dando lugar a una fuente de contaminación duradera (Palau *et al.*, 2009).

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y a la cantidad misma del agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación (Álvarez *et al.*, 2008).

Las fuentes de contaminación química y microbiológica incluyen la práctica de disposición en el suelo de los efluentes de agua de desecho, lodos, desechos sólidos, efluentes de tanques sépticos y escurrimientos urbanos. Más de 200 sustancias orgánicas e inorgánicas sintéticas se han identificado en suministros de agua subterránea, estas sustancias químicas pueden provocar diversos tipos de intoxicación (Ramírez-Flores *et al.*, 2009).

### **2.1.3 Contaminación del suelo**

En las dos últimas décadas el volumen de las cargas contaminantes sobre el subsuelo se han incrementado apreciablemente, dando origen a serios riesgos de contaminación de dicho recurso (Saracho *et al.*, 2007).

El uso de aguas residuales en la agricultura puede aumentar el ingreso de materia orgánica y nutrientes a los suelos cultivados lo cual contribuye a mantener e incrementar la fertilidad del mismo, pero también puede traer efectos ambientales nocivos que deterioran la calidad suelo y del agua (Zamora *et al.*, 2008).

El uso de suelo es uno de los principales criterios que sustentan la planeación urbana, sin embargo es insuficiente o exige el conocimiento sobre su calidad y grado de contaminación en relación con la salud pública y su efecto sobre el crecimiento y desarrollo, entre otros organismos, como el caso de la vegetación (Alcalá *et al.*, 2009).

### **2.1.4 Fuentes de contaminación**

Las fuentes más comunes de contaminación por metales son: los procesos de petróleo, las plantas generadoras de energía y los procesos metalúrgicos. De éstos, el Cadmio es un metal pesado que alcanza el medio ambiente entre otras razones por acción antrópica, ya que es utilizado en galvanoplastia, como protector contra la corrosión, estabilizador de plásticos (Acosta *et al.*, 2007).

Las características tóxicas de los metales pesados se pueden analizar desde diferente punto de vista: (1) toxicidad a largo plazo; (2) transformación a formas más tóxicas bajo ciertas condiciones (por ejemplo el mercurio); (3) biomagnificación a través de la cadena alimenticia lo que puede poner en peligro la vida humana; (4) no se degradan por ningún método, incluyendo bio-tratamiento y finalmente; (5) la toxicidad de metales pesado ocurre, incluso a bajas concentraciones desde 1.0 a 10 mg/ml (Cuizano *et al.*, 2008).



La minería está recibiendo un impulso importante. Esta actividad, cuyo desarrollo requiere el sacrificio de áreas extensas y la utilización de sustancias tóxicas, ha generado conflictos socio-ambientales de diversa magnitud. La actividad minera que combina todas o algunas de las siguientes características: explotaciones a cielo abierto, uso de sustancias contaminantes, utilización de importantes volúmenes de agua por periodos largos de tiempo producción y amplificación de drenaje ácido de mina y roca, niveles de tráfico elevados (Donadio, 2009).

Las actividades mineras eliminan los ecosistemas originales, cambian significativamente la topografía, las relaciones fundamentales ecológicas son irreversiblemente interrumpidas y la biodiversidad es reducida considerablemente. Esta situación actual de la minería, ha generado la necesidad de realizar un estudio integral que contemple la rehabilitación de las áreas degradadas (Sacchi *et al.*, 2010).

## **2.2 Situación de la comarca lagunera**

El problema de Torreón se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora de plomo más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la ciudad. El envenenamiento por metales pesados entre los pobladores de la Comarca Lagunera es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para la salud. El plomo tiene como actor principal al plomo. Esto no significa que sea el más tóxico de los tres de hecho ocurre lo contrario es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y, por ende, causa más problemas y más preocupación en el mundo (Valdés-Perezgasga, 1999)

A pesar de las quejas reiteradas de la población y de los resultados de las investigaciones sobre la exposición de los niños al plomo que se han realizado en esta zona, Peñoles no ha mostrado preocupación sobre la peligrosidad de sus operaciones y el riesgo que representan para la población cercana y su ambiente, escaso interés en resolver, de manera oportuna y sin presiones oficiales, las deficiencias de sus instalaciones y procesos y una lentitud notable para cumplir sus convenios con las autoridades y para reconocer el daño que sus operaciones han causado y causan a la comunidad en la que se encuentran (Viniestra, 1964).

## 2.3 El Plomo

El plomo (Pb) es un metal no esencial para los seres humanos que se distribuye con amplitud en el ambiente; se considera un contaminante ecotoxicológico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición en humanos. Se emplea en la fabricación de pinturas, como antidetonante de la gasolina, en la fabricación de cerámica, reciclaje de baterías, manejo de residuos tóxicos industriales y es común en actividades mineras. La principal vía de biodisponibilidad son el suelo y el polvo, donde se concentra y por medio del cual ingresa al organismo por ingestión e inhalación (Manzanares-Acuña *et al.*, 2006).

El plomo es un metal blando, maleable, de color gris azulado y resistente a la corrosión. Constituye un elemento natural ubicuo que se obtiene por fundición, refinamiento en las minas o secundariamente por el reciclamiento de los materiales de deshecho que contengan plomo. Se encuentra muy difundido en la corteza terrestre en un promedio de 16 mg/kg y su forma más abundante es el sulfuro (PbS) (Ramos *et al.*, 2009).

El plomo reacciona con el ácido nítrico, pero a temperaturas ambiente apenas le afectan los ácidos sulfúricos y clorhídricos. En presencia de aire, reacciona lentamente con el agua formando hidróxido de plomo, que es ligeramente soluble (Hurtado *et al.*, 2008).

El Plomo (Pb) es considerado como uno de los contaminantes más difíciles de controlar. No sólo afecta el crecimiento y la productividad de las plantas, sino que también entra en la cadena alimentaria, lo que representa un peligro para los seres humanos y animales (Luo *et al.*, 2006).

### 2.3.1 Plomo en la naturaleza

El plomo lo podemos encontrar en la naturaleza como son: en los alimentos (ya que se pueden contaminar al contacto con metales, en los pigmentos del envase, con vidrio o por falta de control de calidad durante el proceso de empacado), en la

leche materna, el agua potable (debido a corrosión de tuberías), chocolates, dulces y suplementos alimenticios, platos y recipientes de vidrio (algunos tipos de cristal pueden contener hasta 24-32% de óxido de plomo), loncheras de vinil, juguetes, PVC (ya que para estabilizar este polímero se usan sales de plomo), césped sintético, cerámicas y pinturas (Frías-Espericueta *et al.*, 2010).

El plomo es un metal tóxico que se encuentra en forma natural, que no puede ser degradado o disociado por ser un elemento básico. La producción y uso del plomo en la industria y productos de consumo han expuesto a la población a este metal, siendo el control de emisiones la mejor forma para minimizar la introducción de plomo en el ambiente. Las partículas de plomo pueden ser resuspendidas por el viento y la actividad humana. Las partículas < 10 µg, y especialmente las <2,5 µg, pueden cruzar las defensas del sistema respiratorio y entrar en los pulmones (Astete *et al.*, 2009).

La contaminación con plomo está asociada con la presencia de pintura que contiene plomo en construcciones viejas, con lugares de trabajo que usan plomo (fábrica de baterías), con agua potable, comidas y bebidas contaminadas, con juguetes, medicinas tradicionales, cosméticos y con la tierra, polvo, agua, aire de las cercanías de minas y fundiciones (Poma , 2008).

### **2.3.2 Permanencia del plomo en el ambiente**

El plomo generado puede permanecer como residuo por 1000 a 3000 años en suelos de clima templado, los altos contenidos de plomo(Pb) en el suelo puede provocar problemas de toxicidad en plantas, animales y humanos. Se ha identificado un pequeño número de planta con la capacidad de cultivarse en suelos que contienen altos niveles de metales considerables en sus partes aéreas. Algunas de ellas pertenecen a la familia Brassicaceae, como *Thlaspi caerulescens* y *Brassica juncea* esas plantas han sido llamadas "hiperacumuladoras" (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2006).

### **2.3.3 Absorción del plomo**

El plomo puede ser inhalado y absorbido a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido por el tracto gastrointestinal; la absorción percutánea del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico si se absorbe bien por esta vía. Después de la ingestión de plomo, éste se absorbe activamente, dependiendo de la forma, tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; hay mayor absorción de plomo si la partícula es pequeña, si hay deficiencia de hierro y/ o calcio, si hay gran ingesta de grasa o inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50 % mientras que en el adulto es de 10%3 (M *et al.*,2005).

### **2.3.4 Efecto del plomo a la salud**

Actualmente, la exposición ocupacional a contaminantes como metales pesados y plaguicidas ha crecido por la actividad industrial, minera y agrícola. Los efectos adversos en la salud humana se presentan en el sistema respiratorio, renal, nervioso, endocrino, reproductor, siendo este último muy sensible a muchos agentes físicos y químicos generados por la actividad industrial o agrícola. Estos agentes están presentes en algunas actividades ocupacionales y en el ambiente en general. Las evidencias de estudios toxicológicos, epidemiológicos, bioquímicos y fisiológicos, demuestran que el plomo tiene efectos adversos en la salud humana de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a diferentes concentraciones pudiendo causar infertilidad masculina (Yucra *et al.*, 2008).

El plomo (Pb) es un contaminante ambiental que causa efectos adversos a la salud humana. La exposición al plomo se determina monitoreando su concentración en sangre, tomando en cuenta la influencia de varios factores, tales como edad, sexo, dieta y contaminación del aire (González-Valdeza *et al.*,2007).

Su biodisponibilidad es un problema de salud en niños, embarazadas y mujeres en periodo de lactancia. A este grupo de la población se le considera como el principal grupo en riesgo. En niños, una concentración de 10 µg de Pb por decilitro de sangre ocasiona daños irreversibles en el sistema nervioso central, retraso en

el crecimiento y afecta al sistema hematopoyético, hepático y endocrino. Cuando el polvo con Pb (plomo) se deposita en los objetos y el suelo, los niños resultan ser los más expuestos por el hábito de llevarse a la boca sus manos y objetos contaminados con ese polvo (Manzanares-Acuña *et al.*, 2006).

Efectos del plomo en la salud ocasiona trastornos metabólicos en relación directa a su concentración. Las alteraciones pueden llevar a la muerte y en grados variables a deterioro de la capacidad intelectual, cambios en el comportamiento, toxicidad renal y neuropatía periférica. La anorexia, dispepsia y el estreñimiento se presentan inicialmente, seguidos por cólicos caracterizados por un dolor abdominal difuso. La piel por lo general palidece, el pulso se vuelve lento y la presión sanguínea puede elevarse (Espinal,*et al* 2007).

Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos. El mayor peligro proviene de la inhalación de vapor o polvo. En el caso de los compuestos organoplúmbicos, la absorción a través de la piel puede llegar a ser significativa hasta muy importante (Mayta-Hancco, 2010).

El plomo también produce disminución de la inteligencia, retraso en el desarrollo motor, deterioro de la memoria y problemas de la audición y equilibrio. En adultos, el plomo puede aumentar la presión sanguínea (Espinosa *et al.*, 2008).

### **2.3.5 Normatividad para plomo**

En México no se ha definido el marco normativo específico para la restauración de suelos contaminados por metales pesados, razón por la cual se debe utilizar como referencia la normatividad de Estados Unidos o de otros países. Es importante señalar que la procuraduría federal de protección al ambiente (PROFEPA) elaboró criterios interinos para restauración de suelos contaminados en el año 2000, tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos en suelo, sin embargo, éstos nunca fueron considerados como oficiales debido a que este organismo no tiene atribuciones para elaborar normas ni leyes en México, aunque sirvieron de guía para la evaluación de sitios contaminados en el año de su vigencia (INE, 2006).

Para determinar la contaminación de plomo en el caso de suelos de uso residencial y recreativos se utiliza el siguiente indicador: 400mg de plomo /kg de suelo (EPA, 2006).

La Norma Oficial Mexicana-EM-004-SSA1-1999 (NOM) establece como límite máximo permisible (LMP) una concentración de plomo en sangre de 10 µg/dL. Sin embargo, algunos estudios han reportado que el nivel de plomo en sangre (PbS) a concentraciones menores de este valor puede ocasionar daño neuronal en la población infantil (Leal-Escalante *et al.*, 2007).

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas. 0.025 mg/Kg de plomo es límites máximos permisibles para agua, establecido por la norma oficial rde la Secretaría de Salubridad y Asistencia, (NOM-127-SSA1-1994- 2011).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos establece las bases para prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como para definir los criterios a los que se sujetará su remediación. Que la Ley General de Salud establece las bases para determinar los valores de concentración máxima de contaminantes. El límite máximo permisible de plomopara suelo de uso residencial, agrícola o comercial es de 400 mg/Kg y de 800 mg/Kg para suelo de uso industrial, establecidos por la Norma Oficial de SEMARNAT/SSA, (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).

## **2.4Remediación**

Es una técnica basada en el potencial biodegradativo natural de un suelo, se denomina “atenuación natural” o “biodegradación intrínseca” y está propuesta como una práctica “costo-efectiva” óptima de bajo riesgo (Romaniuket *al.*, 2007).

### **2.4.1 Elementos para la elección de técnicas de remediación de suelos contaminados**

Para llevar a cabo una adecuada elección de la técnica de remediación, hay que establecer en primer lugar el diagnóstico preciso del tipo de contaminantes, dimensión de la contaminación y futuro uso del lugar contaminado, que de acuerdo a la legislación puede ser: agrícola, forestal, recreativo, residencial, comercial o industrial (Lobo, 2006).

- a) Conocer perfectamente el problema de contaminación con información reciente
- b) Identificar las características de una técnica de remediación limpia
- c) Disponibilidad de la técnica seleccionada, conocer las ventajas, desventajas y limitaciones
- d) Experiencia en el tipo de proyecto a realizar

### **2.4.2 Clasificación de las técnicas de remediación**

Remediación ha surgido de la necesidad de desarrollar técnicas y tecnologías para la recuperación ambiental de sitios degradados por la actividad humana. El conjunto de tecnologías de remediación se limitó en un principio a unas pocas utilizadas en todos los casos prescindiendo de las condiciones físicas, químicas y biológicas del medio (Coria 2007).

#### **2.4.2.1 Biorremediación**

Las técnicas clásicas de biorremediación, término que define al proceso mediante el cual los microorganismos presentes en un sitio producen la eliminación de un contaminante, son bioacumulables y bioestimulación, ambas con la posibilidad de ser aplicadas in situ o ex situ (Acuña *et al.*, 2008).

Dependiendo del lugar contaminado, sus características climáticas, físico-químicas y ecológicas, así como de la composición y concentración de los contaminantes, la biorremediación puede ser una opción más segura y de menor costo que otras

soluciones alternativas, como la incineración o el enterramiento de los materiales contaminados. Además tiene la ventaja de que la contaminación es tratada en el lugar donde se encuentra (in situ), por lo que se evitan grandes movimientos de suelos o sedimentos hacia el lugar donde estos puedan ser tratados para la remoción del agente contaminante, o bien hacia su lugar de disposición final como residuos peligrosos (Cortón et al.,2006).

Las técnicas de in situ corresponden a la biorremediación referente a tratamientos que no requieren excavación del suelo contaminado; presentan una mayor ventaja por el menor costo y la disminución de la generación de residuos a eliminar. Es la más aplicada y utiliza microorganismos autóctonos, estos en el suelo pueden degradar un gran número de constituyentes de lodo pero su eficacia y su población son afectados cuando algunos contaminantes tóxicos están presentes en altas concentraciones en la superficie (Mesaet al., 2006).

Pudiendo utilizar tecnología ex situ donde los suelos contaminados pueden ser trasladados a espacios apropiados diferentes a donde se produce la contaminación (Riojas-González et al 2011).

#### **2.4.2.2 Bioestimulación**

Consiste en estimular a los microorganismos de un ambiente natural por medio del agregado de nutrientes, para así mejorar la eliminación de los contaminantes. Es común la incorporación de nitrógeno, fósforo, potasio y humedad en el suelo contaminado para adecuar la relación carbono: nitrógeno: fósforo (C: N: P) del mismo (Maldonado-Chávez et al., 2010).

#### **2.4.2.3 Biolabranza**

La biolabranza en el suelo contaminado se mezcla con diferentes agentes (suelo limpio) y nutrientes, y se remueve (labra) periódicamente para favorecer la aireación y así disminuir la contaminación (Melvin et al 2006).



## 2.5 Fitorremediación

La fitorremediación es una alternativa donde se usan plantas y la asociación microorganismo-raíz para remover o contener contaminantes en el suelo. En suelos moderadamente contaminados, la fitorremediación tiene bajo costo en comparación con técnicas físicas y químicas (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2007).

El tiempo que toma descontaminar un sitio depende de diversos factores. Entre los más importantes están: tipo y número de plantas que se emplean, tipo y cantidad de sustancias químicas presentes, tamaño y profundidad del área contaminada, tipo de suelo y condiciones ambientales presentes. La fitorremediación, mediante diversas técnicas, puede utilizarse para reducir, estabilizar o transformar una amplia variedad de contaminantes (Núñez-Montoya *et al.*, 2007).

En las últimas décadas del siglo XX surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar suelos o emplazamientos contaminados y recuperar los ecosistemas afectados. Cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas se llama fitorremediación. Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes; además, el proceso se realiza 'in situ' evitando costosos transportes. La fitorremediación, por sí misma, muestra una serie de limitaciones, tales como: la localización del contaminante cercano a la rizosfera, las condiciones físicas y químicas del suelo (tales como el pH, la salinidad y el contenido de nutrientes, que pueden limitar el crecimiento vegetal), la concentración del contaminante (que debe estar dentro de los límites tolerables para la planta), riesgos de lixiviación de los contaminantes más móviles, y accesibilidad a la zona contaminada (Carpena *et al.*, 2007).

La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ. Puede aplicarse eficientemente para tratar suelos contaminados con compuestos orgánicos además de compuestos inorgánicos como Cd (cadmio), Cr(VI), (cromo VI); Co (cobalto), Cu (cobre), Pb (plomo), Ni (níquel), Se (selenio) y Zn (zinc). Se ha

demostrado también su eficiencia en la remoción de metales radioactivos y tóxicos de suelos y agua (Agudelo-Betancuret *et al.*, 2005).

La fitorremediación podría ser definida como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas. Asimismo, podría definirse como la capacidad de ciertas plantas (terrestres, acuáticas, leñosas, etc.) y los cultivos *in vitro* derivados de ellas con el fin de remover, contener o transformar productos contaminantes del entorno (Planets, 2011).

Otra alternativa de limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo se fundamenta en la utilización de plantas, lo que se conoce como fitorremediación. El principio de la fitorremediación es establecer especies vegetales tolerantes y estimular la actividad microbiana de la rizosfera, con el fin de favorecer la oxidación y degradación de los contaminantes orgánicos en el suelo (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2006).

Plantas para la fitorremediación son llamadas "Hiperacumuladoras". Los criterios son varios para la clasificación de especies hiperacumuladoras: 1) una planta debe acumular el 0,1% de Pb en su tejido de las hojas secas. 2) la concentración del metal en los brotes debe ser 100-500 veces más alta que la concentración del metal en los brotes de plantas no hiperacumuladoras. 3) la concentración del metal en los brotes debe ser mayor que la concentración de metales en las raíces. 4) el coeficiente de enriquecimiento debe ser superior. La absorción de elementos por las plantas depende de la disponibilidad de elemento como: el pH de los medios de comunicación, las interacciones con otros elementos, y las especies de plantas (López *et al.*, 2009).

### **2.5.1 Diferentes categorías de la fitorremediación**

### **2.5.1.1 Fitoextracción**

La fitoextracción se basa en la identificación y el uso de especie vegetal (denominado como hiperacumuladoras) naturalmente, se acumula y tolera altos niveles de un determinado contaminantes en sus tejidos (Parra *et al.*, 2008).

El uso de plantas para extraer los metales del suelo, trasportarlos y acumularlos en los órganos de la parte aérea (Becerrilet *al.*, 2007).

La eficiencia de fitoextracción está relacionada con la concentración del metal y su planta de producción de biomasa. Las especies de plantas para remediar un sitio contaminado debe ser un cultivo con alta producción de biomasa que pueda tolerar y acumular los contaminantes (Saifullah *et al.*, 2009). El tratamiento de sitios contaminados y la reducción de la exposición de metales pesados por métodos convencionales como por ejemplo; la solidificación / estabilización, lavado del suelo es caro y lleva mucho tiempo. Se han usado cultivos de rápido crecimiento de mostaza es decir, la India, el maíz y el girasol con o sin tratamientos químicos para mejorar la solubilidad del suelo de metal para la fitoextracción (Ruiz *et al.*, 2009).

### **2.5.1.2 Rizofiltracion**

Es una técnica de fitorremediación que usa raíces de plantas para descontaminar agua superficial, subterránea o efluentes líquidos contaminados con metales pesados, toxinas orgánicas, entre otros elementos. Las plantas que se utilizan con este fin se cultivan en invernaderos, con las raíces sumergidas en agua, en lugar de tierra. Cuando el sistema radicular de la planta está bien desarrollado, sus raíces se colocan en contacto con el agua o efluente a tratar. A medida que las raíces se van saturando en agua y contaminantes se van cortando y eliminando. Además es estética y naturalmente amigable con el ambiente, por lo que se presenta como una forma de descontaminación socialmente aceptable para las comunidades circundantes y para los organismos de control respectivos (Guevara *et al.*, 2009).

### **2.5.1.3 Fitoestabilizacion**

Se aplica a suelos contaminados con metales, metaloides y fenoles. Implica la disminución de la movilidad del contaminante por su acumulación en raíces o precipitación en la rizosfera, esto puede lograrse a través del establecimiento de una cubierta vegetal. El principal objetivo de este proceso es concentrar ciertos metales pesados y contaminantes orgánicos en la raíz de las plantas, reduciendo así la movilidad de los contaminantes y previniendo su migración hacia zonas más profundas del suelo y cuerpos de agua subterráneos. Las características que debe presentar una planta para que pueda emplearse se encuentran: (i) el desarrollo de un sistema radicular extenso, (ii) proveer una buena cobertura en el suelo, (iii) tolerancia a los metales tóxicos presentes e, idealmente, (iv) inmovilizar los contaminantes en la rizosfera (Domínguez, 2010).

### **2.5.1.4 Fitoestimulacion**

Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos). Y se trata los contaminantes como son: Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina (Frers, 2008).

### **2.5.1.5 Fitovolatilizacion**

La reducción de la “disponibilidad” de los metales en el suelo, mediante adsorción o absorción, precipitación o quelación en las raíces o en la rizosfera. Puede contribuir significativamente a la disminución de la solubilidad de metales y la revegetación de lugares contaminados. El proceso se basa en la habilidad de las raíces y/o los microorganismos asociados para impedir el movimiento de los contaminantes en el suelo y su transferencia a la parte aérea de la planta los mecanismos involucrados incluyen la precipitación de los contaminantes en formas insolubles en el suelo y su acumulación en las vacuolas de las raíces (Bernalet *et al.*, 2007).

Una gran parte de los metales pesados son movilizados por las corrientes de aguas y otros se depositan en los sedimentos por precipitación (Aguilar-Ucán *et al.*, 2009).

El metal, una vez presente en suelo, puede ser poco móvil o acumularse en su superficie, siguiendo vías como quedar retenido, ser disuelto en la solución del suelo o ser fijado por adsorción, complejación o finalmente por precipitación (Machado *et al.*, 2008).

### **2.5.1.6 Fitodegradación**

Se refieren a la degradación de contaminantes orgánicos a través de las enzimas de las plantas, sus productos o por la acción de microorganismos rizosféricos. Muchas investigaciones indican que las plantas tienen el potencial genético para remover metales tóxicos del suelo (Batista-García *et al.*, 2009).

### **2.5.2 Proceso de entrada de los metales pesados en la planta**

Transporte: entrada y salida de metales pesados al interior de la planta primero y al interior de las células después.

Quelación: secuestro de los metales pesados contaminantes mediante la unión a ligandos específicos (principalmente peptídicos) producidos por la propia planta.

Compartimentalización: proceso por el que el complejo ligando-metal queda retenido en una vacuola

Biotransformación: conjunto de reacciones de descomposición, conjugación o síntesis implicadas en el correcto procesamiento de los contaminantes.

Mecanismo de reparación celular: mecanismo que en respuesta al deterioro sufrido, reestablecen las características iniciales de la planta (Navarro-Aviño *et al.*, 2007).

### **2.5.3 Características de una planta hiperacumuladora**

Las plantas hiperacumuladoras deben poseer ciertas características para cumplir con su función de acumular metales pesados en sus partes aéreas (i) capacidad para tolerar altas concentraciones de metales en sus células; (ii) alta capacidad de translocación de contaminantes desde las raíces a la parte aérea; (iii) rápida tasa de captación de los elementos contaminantes (Castellanos *et al.*, 2010).

#### **2.5.4 Ventajas de la fitorremediación**

Se encuentra su bajo costo, la aplicabilidad en grandes áreas y la nula o poca agresividad hacia el medio ambiente (Rosa *et al.*, 2008).

Ventajas de la fitorremediación es que restituye las propiedades funcionales y estructurales del suelo, promueve la actividad de microorganismos de la rizosfera. Para aplicar fitorremediación, las especies se seleccionan teniendo en cuenta la tolerancia al contaminante, que está relacionada con mecanismos fisiológicos que permiten el normal funcionamiento en presencia de altas concentraciones de tóxicos potenciales (Couselo *et al.*, 2010).

1. Es una tecnología sustentable
2. Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ
3. Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas
4. Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía
5. Es poco perjudicial para el ambiente
6. No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho
7. Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable
8. Evita la excavación y el tráfico pesado

9. Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos
10. Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales) (Marguí *et al.*, 2011).

### **2.5.5 Desventaja de la fitorremediación**

1. En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.
2. Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizosfera de la planta.
3. El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.
4. En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.
5. Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.
6. No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
7. La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
8. Se requieren áreas relativamente grandes.
9. En sistemas acuáticos se puede favorecer la diseminación de plagas, tales como los mosquitos (Delgadillo-López *et al.*, 2011).

### **2.5.6 Métodos de remediación de suelo**

El uso de plantas de las zonas áridas en asociación con micorrizas, podría ser un auxiliar en la rehabilitación de suelos contaminados. Se ha demostrado ampliamente que las micorrizas arbuscular mitigan el estrés e incrementan el crecimiento de las plantas en sitios fuertemente contaminados con metales

pesados, por lo que son una herramienta biotecnológica potencial para la restauración de ecosistemas degradados (Ortiz-Cano *et al.*,2009).

Tratamientos fisicoquímicos. Este tipo de tratamientos, utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación (Agudelo *et al.*, 2010).

Tratamientos térmicos. Utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes (Agudelo *et al.*, 2010).

Los métodos convencionales de remoción de iones metálicos desde industriales son la precipitación química, coagulación, extracción con solventes, intercambio iónico y mediante adsorción con sustancias naturales o sintéticas. El intercambio iónico y la adsorción serían los métodos más comunes y efectivos para la extracción de metales desde soluciones diluidas, sin embargo el alto precio de las resinas, su baja selectividad, alta saturación y los costos de regeneración los hacen métodos poco atractivos (Araneda-Beas *et al.*,2009).

La fitorremediación de suelos contaminados es una técnica con grandes posibilidades. El uso de especies vegetales tolerantes a altos niveles de metales en suelos y agua, permite actividades de restauración con menor impacto ambiental sobre los terrenos que otras técnicas tradicionales, más invasivas y con efectos secundarios adversos (Prieto-Méndez *et al.*, 2009).

Los tipos de tratamientos utilizados en remediación se basan en los principios de operación de las tecnologías y son (Agudelo *et al.*, 2010).

Tratamientos biológicos (biorremediación). Utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destruir), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inoocuos (Agudelo *et al.*, 2010).



Los residuos de metales pesados, presentes en ambientes contaminados, pueden acumularse en los microorganismos, flora y fauna acuática (Ceballos-López *et al.*, 2010).

El metal pesado puede sustituir componentes de enzimas específicas y otros metales catalizadores, produciéndose alteraciones bioquímicas que afectan en mayor o en menor grado el sistema biológico, debido a la inestabilidad estructural y funcional del mismo (Martí *et al.*, 2009).

Los microorganismos son una alternativa potencial sobre los procesos convencionales para la recuperación de metales de soluciones industriales, este fenómeno es conocido como biosorción y se refiere a las interacciones fisicoquímicas entre la biomasa microbiana y el metal pesado (Monge-Amaya *et al.*, 2008).

Los efectos de sustancias tóxicas sobre un ecosistema se inician con una reacción bioquímica en el individuo, respuesta inicial que ocurre a los niveles de organización biológica más bajos, es reversible y específica. Subsecuentemente, con el incremento del impacto, tiene lugar una secuencia de alteraciones en niveles de organización más complejos, con perturbación de funciones vitales y muerte (Bozo *et al.*, 2007).

### **2.5.7 Plantas remediadoras**

El *Thlaspi caerulescens* la hiperacumulación de Cd y Zn se debe a una estimulación del transporte de los metales a la raíz y alteración del transporte intracelular con disminución de la acumulación del metal en la vacuola y aumento del transporte a la parte aérea para la limpieza de terrenos contaminados (Rodríguez-Serrano *et al.*, 2008).

La planta acuática *Lemna minor* (lenteja de agua) tiene alta capacidad de absorción de metales pesados y su rápido crecimiento. La lenteja de agua es una planta con amplia disponibilidad. Se puede encontrar en ambientes húmedos en casi todos los países del mundo. Los sedimentos proporcionan nutrientes que son vitales para el crecimiento de la planta y la reproducción. La lenteja de agua elimina muchos metales pesados hasta un 95% de la concentración inicial y hasta un concentración tan bajas como 0.1 mg / L (Hurd *et al.*, 2008).

Los resultados de prueba de campo de experimentos han demostrado que estas plantas como por ejemplo: *Chromolaena odorata*, *Thysanolaena máxima*, *Sonchus arvensis* y *Buddleja asiática*, tienen un potencial para la fitorremediación de Pb, debido a la tolerancia, el crecimiento rápido y alta producción de biomasa (Soongsombat *et al.*, 2009).

El pasto Vetiver pueden acumular metales pesados el plomo en particular en (tallo y la raíz de 0,4% y 1%) y zinc (tallo y la raíz de 1%). La mayoría de los metales pesados se acumulan en las raíces. Vetiver puede absorber y promover la biodegradación de los residuos orgánicos (2, 4,6-trinitrotolueno, bromuro de fenol de etidio, el benzo y la atrazina. Aunque el vetiver no es tan efectiva como algunas otras especies en la acumulación de metales pesados (Danh *et al.*, 2009).

La biomasa de *S. natans* posee una buena capacidad para acumular metales pesados tales como Cr (cromo), Zn (zinc) sobre la exposición de las aguas residuales en metales pesados. Las plantas acuáticas, tanto vivos como muertos poseen inmensos la capacidad para eliminar los metales pesados de aguas residuales puede llegar a ser un sistema alternativa (Dhir *et al.*, 2010).

Las especies nativas no pueden tolerar las condiciones duras y el medio ambiente tóxico con frecuencia que se encuentran en sitios contaminados. Los estudios han demostrado que la biodegradación de la rizosfera del suelo es el mecanismo clave para la disipación de los contaminantes orgánicos (Nedunuri *et al.*, 2010).

Se considera acumuladoras de Pb a las especies vegetales que concentran más de 1000 mg kg<sup>-1</sup> de materia seca, las características de una planta remediadora

ideal incluye el desarrollo de abundantes biomasa y capacidad evidente de tolerar y acumular los contaminantes de interés (Díaz-Rojas *et al.*, 2010).

Una de las plantas que ha cobrado importancia en la fitorremediación es el vetiver, dada su alta resistencia a ambientes extremos, condiciones de stress y acidez. El vetiver es eficiente para la eliminación de zinc, plomo y cromo, aunque a altas concentraciones la presencia de los mismos inhibe la producción de materia seca y la tasa fotosintética (Torres-Rodríguez *et al.*, 2010).

#### **2.5.7.1 *Nicotiana glauca* Graham**

Es una hierba perenne, robusta, de 50 a 120 cm de altura. La raíz es larga y fibrosa. El tallo es erecto, de sección circular, piloso y viscoso al tacto. Se ramifica cerca de su extremo superior, produciendo hojas densas, grandes (30 a 60 cm de largo por 10 a 20 de ancho), alternas, sésiles, ovado a lanceoladas, apuntadas, de color verde pálido; al tacto comparten la viscosidad del tallo. Son frágiles, y despiden un olor ligeramente acre y narcótico, debido a la nicotina, un alcaloide volátil de sabor agresivo y olor intenso, este alcaloide funciona como un insecticida natural por lo que los animales herbívoros no lo ingieren, impidiendo así el paso de metales a la cadena alimentaria. (Cuevas-Ariaset *al.*, 2008).

El género *Nicotiana* es un miembro de la familia Solanaceae y se ha dividido en tres subgéneros (Rustica, Tabacum y Petunioides), los que contienen alrededor de 76 especies reconocidas. De ellas, *Nicotiana tabacum* L. y *Nicotiana rustica* L. son las únicas especies cultivadas comercialmente en el mundo, el resto son consideradas como silvestres y la mayoría poseen caracteres morfológicos muy diferentes a los de las variedades comerciales. Sin embargo, estas especies silvestres conservan genes de resistencia a plagas, así como para rasgos cualitativos y fitoquímicos importantes que no están presentes en las variedades cultivadas (Valdés-Cruz *et al.*, 2010).

*Nicotiana glauca* L., mejor conocida como “gigantón”, “tabaquillo”, “tabaco silvestre”, entre otros, es un arbusto de amplia distribución en México, sobre todo, en ecosistemas alterados por el humano. Tabaquillo es un vegetal arvense, éste es, una planta asociada a los cultivos, conocidas como “malezas” que sin embargo,

también es unaparte importante de la biodiversidad vegetal de nuestroterritorio (Aviña-Padilla *et al.*,2008).

Podría ser empleadas en remediación de sustratos estas plantas tienen características ecológicas que son de importancia a la hora de seleccionar especies tolerantes para remediación in situ, ya que son de amplia distribución, de rápido crecimiento, la reproducción es temprana en el ciclo vital, las raíces se extienden en profundidad y horizontalmente y son longevas por lo que podrían secuestrar y mantener elcontaminante en su biomasa (Viana *et al.*, 2008).

Cierval, (2008) Establece en un trabajo de investigación, donde utilizó suelo contaminado procedente de minas, que la planta *Nicotiana glauca Graham* tiene capacidad para absorber y trasladar a sus diferentes partes el plomo. Menciona a esta planta como óptima para ser usada en fitorremediación por su generación de gran biomasa, por su adaptación a condiciones extremas de salinidad, a baja cantidad de nutrientes, a alta concentración de metales pesados, a climas secos y fríos y tiene un sistema de raíces bastante profundo.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Establecimiento del trabajo

El presente trabajo se pretende realizar conjuntamente en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- UL, (UAAA-UL) y la empresa Met-Mex Peñoles, en Torreón, Coahuila. Ubicada a los 25°30´ de latitud norte y a los 103°21´ de longitud oeste al sur de la ciudad. Iniciando el proyecto en enero y terminando en diciembre del 2010.

Se establecieron 15 macetas con suelo contaminado y 5 con arena (testigo), distribuidas al azar en el área de sombreadero del departamento de horticultura en la UAAAN-UL.

#### 3.2 Preparación de sustrato

Se recolectó suelo contaminado con plomo del parque ecológico ubicado sobre la calzada Comonfort y Raúl Madero (zona aledaña a la Industria Met-Mex Peñoles), se secó a temperatura ambiente y se cribó en malla de 2mm y se procedió al llenado de macetas con 8 kg de suelo, simultáneamente se llenaron también las macetas, con 8 Kg de los testigos con arena seca y pasada por la misma malla.

#### 3.3 Especie vegetal

Se seleccionó 1 especies vegetal, el virginio o tabacón (*Nicotiana glauca* Graham) por ser resistente a los cambios de clima y de fácil adaptación a lugares adversos como climas secos, lugares contaminados, por nombrar algunos factores, además por sus características perenes, ornamentales y generadoras de considerable biomasa.

### **3.3.1 Producción de planta**

Las especie vegetal generadas por semilla, (semilla recolectada en San Pedro, Coah) se produjeron en una charola de unicel de 200 celdas, se llenaron con sustrato para germinación (peat most), previamente saturado con agua, posteriormente se realizaron pequeños orificios para depositar una semilla en cada cavidad, seguido de la colocación de una capa ligera de sustrato, finalmente

### **3.3.2 Trasplante**

El primer trasplante se realizó cuando la planta alcanzó una altura de 6 cm en promedio y tuvo 5 hojas verdaderas. La plántula se sacó de la charola de unicel con cuidado y se colocó en bolsas de plástico con arena de 0.5 Kg, para mayor espacio de desarrollo de la raíz. El segundo trasplante se realizó cuando la planta alcanzó una altura de 15 cm en promedio, se depositó en bolsas de plástico de 10 Kg de capacidad con (8 Kg de suelo contaminado) esto se logró aproximadamente a los 2 meses.

### **3.3.3 Riego**

Se saturaron las bolsas de sustrato con agua antes del trasplante y posteriormente se realizaron riegos semanales, aplicando 500ml de agua a cada una de las macetas.

## **3.4 Análisis de muestras**

### **3.4.1 Agua**

Se tomó una muestra de agua de riego para ser analizada por Absorción Atómica, en el laboratorio de suelos de la UAAAN-UL

### **3.4.2 De Vegetal**

Se realizaron muestreos de planta a los 30, 60, 90, 120 y 150 días después del trasplante para determinar las concentraciones de metales pesados absorbidos por la planta, en raíz, tallo y hoja. Se muestrearon al azar dos plantas, se lavaron con ácido clorhídrico al 10 %, se secaron al medio ambiente y de ser necesario se deshidrataron en el horno de secado a una temperatura de 70°C por 24 horas, posteriormente se realizó un macerado de raíz, tallo y hoja, se tomó la muestra correspondiente, para llevar a cabo una digestión ácida, y luego se analizó el plomo en el espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER modelo 2380 en el laboratorio de la UAAAN-UL (Maxted et al., 2007). Conjuntamente se tomaron muestras de un testigo por mes.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultado de análisis físico-químico de arena

En el cuadro 1 se presentan los resultados del análisis físico-químico del arena, utilizada en parte del crecimiento de las plantas y en los testigos, observando la concentración de plomo dentro de la norma de acuerdo a los límites máximos permisibles de los Estados Unidos que es de 500 mg/Kg (Valdez y Cabrera, 1999), mientras que la normatividad de México marca el límite máximo permisible en 750 mg/Kg para suelo de uso industrial (SEMARNAT/SSA1,PROY-NOM-147,2004).

Cuadro 1. Resultado del análisis físico-químico de arena

Parámetro	Método	Resultado
Arena %	Bouyoucus	88.56
Arcilla %	Bouyoucus	8.72
Limo %	Bouyoucus	2.72
Textura	Bouyoucus	Arenoso
Densidad Aparente g/ml	Probeta	1.39
Materia orgánica %	Walkley Black	0.3015
Cap. Int. catiónico meq/100g	BaCl <sub>2</sub>	6
Cond. Eléctrica mS/cm	Suelo saturado	6.64
Calcio meq/l	A. A.	22.4
Magnesio meq/l	A. A.	9.6
Carbonatos meq/l	Volumetría	1.4
Bicarbonatos meq/l	Volumetría	10.6
Cloro meq/l	Volumetría	33.4
Plomo mg/l	A. A.	39.9
Cadmio mg/l	A.A.	310



Zinc mg/l	A.A.	100
Fierro mg/l	A.A.	1212.5

\* A.A. absorción atómica meq miliequivalentes

## 4.2 Resultado de análisis físico-químico de suelo

En el cuadro 1 se muestra el análisis físico químico del suelo utilizado como sustrato para el experimento, observándose que la concentración de plomo está por encima de la norma de acuerdo a los límites máximos permisibles de los Estados Unidos que es de 500 mg/Kg (Valdez y Cabrera, 1999), mientras que la normatividad de México marca el límite máximo permisible en 750 mg/Kg para suelo de uso industrial (SEMARNAT/SSA1,PROY-NOM-147,2004).

Cuadro 2. Resultado del análisis físico-químico de suelo empleado

Parámetro	Método	Resultado Final
Arena %	Bouyoucus	42.36
Arcilla %	Bouyoucus	13.28
Limo %	Bouyoucus	44.36
Textura	Bouyoucus	Franco
Densidad g/ml	Parafina	1.19
Materia orgánica %	Walkley-Black	1.14
CIC meq/100g	BaCl <sub>2</sub>	8.5
Cond. Eléctrica mS/cm	Suelo saturado	15.02
Calcio meq/l	A A..	43.02
Magnesio meq/l	A.A.	23.29
Carbonatos meq/l	Volumetría	0
Bicarbonatos meq/l	Volumetría	20

Cloruros	meq/l	Volumetría	90
Plomo	mg/Kg	A.A.	1357.5
Cadmio	mg/Kg	A.A.	312.5
Zinc	mg/Kg	A.A.	540
Fierro	mg/Kg	A.A.	2850

\* A.A. absorción atómica      meq miliequivalentes

### 4.3 Resultado de Análisis de plomo (mg/Kg) del suelo antes y después del experimento.

Cuadro 3. Concentración inicial y final de plomo en el suelo

Elemento	Concentración inicial mg/Kg	Concentración fina mg/Kg
Plomo	2800	1357

La diferencia de concentración en el cuadro tres nos indica la cantidad de plomo absorbida por la planta que es de 1443 mg/Kg. La concentración final disminuyó, sin embargo, aún sobrepasa el límite máximo permisible según NOM-147 de SEMARNAT.

#### 4.4 Resultado de análisis del agua de riego

En el cuadro cuatro se muestran el análisis del agua de riego observándose que la concentración de plomo está arriba del límite máximo permisible, que es de 0.025 g/Kg de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994

Cuadro 4. Resultado de Análisis de agua de riego

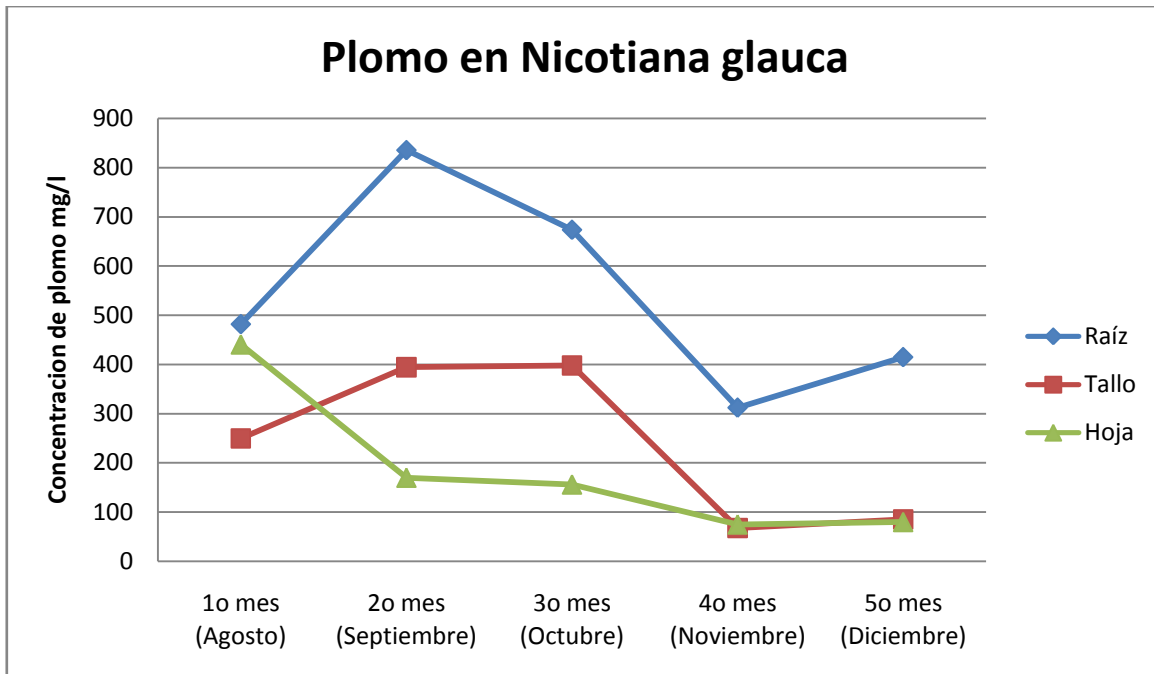
Parámetro	Método	Resultado
pH	Directa	7.22
Cond. Eléctrica mS/cm	Directo	0.952
Calcio meq/l	A.A.	3.04
Magnesio meq/l	A.A	1.84
Carbonatos meq/l	A.A	0
Bicarbonatos meq/l	A.A.	2.72
Cloruros meq/l	A.A	0.72
Plomo mg/l	A.A	0.18
Cadmio mg/l	A.A	0.026

#### 4.5 Resultado de Análisis de Plomo (mg/Kg) en diferentes partes de la planta *Nicotiana glauca* Graham en diferentes meses.

Cuadro 5. Resultado de Análisis de Plomo (mg/Kg) en diferentes partes de la planta *Nicotiana glauca* através del tiempo

	Plomo mg/Kg			
	Raíz	Tallo	Hoja	Total
1º Mes (Agosto)	481.8	249.4	440.4	1171.6
2º Mes (Septiembre)	835.5	394.2	169.9	1399.6
3º Mes (Octubre)	673.6	397.6	156.1	1227.3
4º Mes (Noviembre)	312.1	67.4	74.9	454.4
5º Mes (Diciembre)	414.8	84.9	79.9	579.6
Total	2,717.8	1,193.5	921.2	4832.5

\*Los datos son promedio de dos lecturas, pues se tomaron dos muestras por mes



Gráfica 1. Comportamiento de la concentración de plomo en los diferentes meses y diferentes partes de la planta *Nicotiana glauca*.

La Grafica 1 muestra el comportamiento del plomo en la planta, observándose un aumento en la concentración de plomo en los dos primeros meses para la raíz y para el tallo, luego se observa una recaída en los dos meses siguientes volviendo a aumentar en el quinto mes. Es importante mencionar que durante el mes de septiembre se presentaron lluvias muy fuertes que inundaron las macetas y doblaron las plantas a lo que se puede atribuir el decaimiento de la absorción de plomo, sin embargo la planta lo superó en el 5º mes aumentando de nuevo la concentración de plomo.

En cuanto a la hoja no se comporta igual que tallo y raíz, sino que a partir del segundo mes hay un decaimiento de la concentración de plomo, observándose una recuperación en el 5º mes.

De acuerdo al cuadro 5 la raíz absorbió un 56.4 % de plomo, el tallo un 24.7 y la hoja un 19.1 %.

En un principio la planta se dedica a absorber los metales por la membrana de las células corticales de las raíces, después se transportan en solución al xilema, es decir de la raíz al tallo y posteriormente estos metales se movilizan hasta llegar a las hojas que son tejidos de almacenamiento por medio del floema, constituyendo el último paso de la fitorremediación, es por esto que tarda más en llegar a las hojas de la planta.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que el suelo utilizado, proveniente del parque ecológico ubicado en zonas aledañas a la Empresa Met-Mex Peñoles rebasa los límites máximos permisibles de acuerdo a la norma NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

En la concentración final de plomo en suelo, hubo un decremento, esto a consecuencia de lo absorbido por la planta.

La especie vegetal *Nicotiana glauca Graham* tiene capacidad para absorber plomo puede ser considerada como hiperacumuladora, ya que en los 2 primeros meses logró acumular en sus diversas partes analizadas más de 1000 g/Kg.

Aunque el suelo sigue rebasando el límite máximo permisible de plomo de acuerdo a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, la concentración del mismo si disminuyó.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda en un trabajo similar, llevarlo a mayor tiempo para conocer con certeza el tiempo necesario para desintoxicar el suelo contaminado por plomo.

Se recomienda tener un registro meteorológico de las condiciones del tiempo.



## VII. LITERATURA CITADA

Acosta, I., Moctezuma-Zárate, M. G., Cárdenas, J. F., y Gutiérrez, C., 2007. Biosorption of cadmium (II) in aqueous solutions by fungal biomass. *Revista información tecnológica*. Vol 18, Pág. 9-14.

Acuña, A. J., Pucci, O. H. y Pucci, G. N., 2008. Caracterización de un proceso de biorremediación de hidrocarburos en deficiencia de nitrógeno en un suelo de Patagonia Argentina. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. Vol 17, Pág. 85-93.

Agudelo, E. A., y Cardona-gallo, S., 2010. Preliminary analyses of the physico-chemical treatment and biological of the present dielectric oil on earth fuller. *Revista Dyna*. Vol. 3, Pág. 193-202.

Aguilar-Ucán, C. A., Montalvo-Romero, C., Ramírez-Elias, M. A., y González-Barrera, C., 2009. Heavy metals in sediments of the stream "La Caleta" of Ciudad del Carmen, Campeche, Mexico: A preliminary study. *Revista latinoamericana de recursos naturales*. Vol. 5, Pág. 232-237.

Agudelo-Betancur, L. M., Macias-Mazo, K. L. y José-Suarez, A., 2005. Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista lasallista de investigación*. Vol, 2. Pág. 57-60.

Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Rodríguez, J.C., Quintana, C., Terrazas, C., y Rivero, O., 2009. Heavy metals in urban land as an indicator of environmental quality: city of Chihuahua, México. Vol. 18, pag 53-69.

Álvarez, J. P. A., Panta, J. E. R., Ayala, C. R., y Acosta, E. H., 2008. Calidad integral del agua superficial en la cuenca hidrológica del río amajac. Vol. 19, Pág. 21-32.

Aviña-Padilla, Katia; Ochoa-Sánchez, Juan Carlos; Martínez-Soriano, Juan-Pablo., 2008 *Nicotiana glauca* L. Arvense es reservorio de virus fitopatógenos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, Vol. 26, Pág. 188-190.

Araneda-Beas, C., y Valenzuela-Lozano, F., 2009. Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales. *Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. Vol. 4 Pág. 89-95.

Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M. C., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., Pari, J. y Félix, R., 2009. Lead intoxication and other health problems in children

population who live near mine tailing. Rev peru Med exp salud pública. Vol. 26, Pág. 15-19.

Batista-Garcia, R. A. y Sánchez-Reyes, A., 2009. Heavy metals phytoremediation and microorganisms. Revista electrónica de la agencia de medio ambiente. Vol. 9, Pág. 1683-8904.

Becerril, J. M., Barrutia, O., García-Plazaola, J. L., Hernández, A., Olano, J. M. y Garbisu, C., 2007. Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 16, Pág. 50-55.

Bernal, M. P., Clemente, R. Vazquez, S. y Walter, D. J., 2007. Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en aznalcollar. Revista científica y tecnología de ecología y medio ambiente. Vol. 6, Pág. 68-82.

Boada, M., Moreno, M. A., Gil, H., Marcano, J., y Maza, J., 2007. Heavy metals (Cu+2, Cd+2, Pb+2, Zn+2) in muscle and cephalothorax of wild shrimp (*litopenaeus schmitti*, *farfantepenaeus subtilis*, *f. notialis* and *f. brasiliensis*) from the eastern region of Venezuela. Revista científica Vol. 17, Pág. 186 – 192.

Bozo, L., Fernández, M., López, M., Reyes, R., y Suárez, P., 2007. Biomarcadores de contaminación química en comunidades microbianas. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 32, Pág. 8-13.

Campos, A., Gómez, R., Licon, L., Carrillo, J., Ramírez, E., y Herrera, E. F., 2008. Monitoring air pollutants in Chihuahua City (Northern Mexico) as a tool for air quality management. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Vol. 4, Pág. 357-366.

Castellanos, M., Moorillón, N., Casarrubias, B. y Pérez, P., 2010. Fitorremediación como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados. Revista internacional de ciencia y tecnología biomédica. Vol. 4, Pág. 1-3.

Carpina, R. O. y Bernal, M. P., 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 16, Pág. 1-3.

Ceballos-López, R.C., N, G. y R, V., 2010 Evaluation of the presence of metals in liquid residuals and its potential impact in one community. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España, y Portugal. Vol. 14, Pág. 33-46.

Cierval, 2008. *Nicotiana glauca*, altavista- <http://www.cierval.es/oku-oct-4.htm>.

Consultada 20 de septiembre de 2011.

Coria, I. D., 2007. Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 6, Pág. 1-7.

Cortón, E. y Viale, A., 2006. Solucionando grandes problemas ambientales con la ayuda de pequeños amigos: las técnicas de biorremediación. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 5, Pág. 34-37.

Cuevas-Arias, C. T., Vargas, O., y Rodriguez, A., (2008). Solanaceae diversity in the state of Jalisco, Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad. Vol. 79, Pág. 67-79.

Chung, B., 2008. Control of chemical pollutants in Peru. RevPeru Med exp salud pública. Vol. 25, Pág. 413-418.

Couselo, J. L., Corredoira, E., Vieitez, A. M., y Ballester, A., 2010. Aplicación del cultivo in vitro de tejidos vegetales en estudios de fitorremediación. Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. 29, Pág. 77-87.

Cuizano, N. A., y Navarro, A. E., 2008. Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 104, Pág. 120-125.

Danh, L. T., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., y Foster, N., 2009. Vetiver grass, vetiveria zizanioides: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. Revista Taylor & Francis. Vol. 11, Pág. 664-691.

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., Acevedo-Sandoval, O., 2011. Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 3, Pág. 597-612.

Díaz-Rojas, M., Gutiérrez-Espinosa, G., Gutiérrez-Espinosa, A., González-Chávez, M. C., Vidal-Gaona, G., Zaragoza-Palencia, R. M., y Calderón-Ezquerro, C., 2010. Caracterización aerobiológica de ambientes intramuro en presencia de cubiertas vegetales. Rev Int Contam Ambient. Vol. 26, Pág. 279-289.

Domínguez, M. T., 2010. Elementos traza en el sistema plantasuelo: implicaciones para la ecología de especies leñosas mediterráneas y la restauración de zonas contaminadas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 19, Pág. 92-96.

Donadio, E., 2009. Ecólogos y mega-minería, reflexiones sobre por qué y cómo involucrarse en el conflicto minero-ambiental. *Revista Ecología Austral*. Vol. 19, Pág. 247-254.

Dhir, B., Nasim, S. A., Sharmila, P., y Saradhi, P. P. 2010., Heavy metal removal potential of dried salvinia biomass. *Revista Taylor & francis*. Vol. 12, Pág. 133–141.

EPA 2006 (en línea). Contaminación por plomo en suelo. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/447/cap4.pdf> (consulta el día 17/04/2011).

Espinal, G., Martínez-Macias, C., Melo-Tavárez, A. H., Cordero-Reyes, Y., y Herrera, E. J., 2007. Niveles de plomo en sangre y rendimiento académico escolares 11- 14 años la escuela primaria república uruguay. *Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. Vol. 32, Pág. 122-135.

Espinosa, C., Nobrega, D., Seijas, D., Sarmiento, A., y Medina, E., 2008. Niveles de plomo en sangre y factores ambientales asociados, en una población infantil venezolana. *Revista Gac Méd Caracas*. Vol. 116, Pág. 307-314.

Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Mendoza-López, M. R., Sangabriel, Wendy., Trejo-Aguilar, D., Cruz-Sánchez, J. S., López-Ortiz, C. y Delgadillo-Martínez, J., 2007. Phytoremediation of a fuel oil-polluted soil with *Phaseolus coccineus* using organic or inorganic fertilization. *Revista Agrociencia*. Vol. 41, Pág. 817-826.

Ferrera-Cerrato, R., Rojas-Avelizapa, N. G., Poggi-Varaldo, H. M., Alarcón, A. y Cañizares-Villanueva, R. O., 2006. Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Rev latinoam microbiol*. Vol. 48, Pág. 179-187.

Fuente, E., y Suárez, S., 2008. Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Revista ecología austral*. Vol. 18, Pág. 239-252.

Frías-Espericueta, M.G., J.I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro, M. Aguilar-Juárez y D. Voltolina., 2010. Lead and cadmium in organisms of commercial importance in the coastal zone of Sinaloa, Mexico: 20 years of studies. *Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. Vol. 25, Pág. 121-134.

Frers, C., 2008. El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 11, Pág. 301-305.

García-Nieto, E., Carrizales-Yañez, L., Juárez-Santacruz, L., García-Gallegos, E., Hernández-Acosta, E., Briones-Corona, E., y Vázquez-Cuecuecha, O. G., 2011. Plomo y arsénico en la subcuenca del alto atoyac en Tlaxcala, México. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. Vol. 17, Pág. 7-17.

González, I., Muena, V., Cisternas, M., y Neaman, A., 2008. Copper accumulation in a plant community affected by mining contamination in Puchuncaví valley, central Chile. Revista chilena de historia natural. Vol. 81, Pág. 279-291.

González- Valdeza, E., González-Reyes, E., Bedolla-Cedeño, C., Arrollo-Ordaza, E. L., y Manzanares-Acuña, E., 2007. Blood lead levels and risk factors for lead poisoning in Mexican children. Rev. Fac. ing. univ. Antioquia. Vol. 5, Pág. 114-119.

Guevara, A., Torre, E. Villegas, A. y Criollo, E., 2009. Uso de la rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuración que contienen cromo, cobre y cadmio. Revista latinoamericana de metalurgia y materiales. Vol. 2, Pág. 871-878.

Guzmán-Morales, A. R., Sánchez-Elías, S., y García-Niebla, E., 2007. Effect of the residuals of a ceramic industry about the contamination of the soil. Revistaciencias técnicas agropecuarias. Vol. 16, Pág. 46-52.

Hurd, N. A., y Sternberg, S. P. K., 2008. Bioremoval of aqueous lead using lemna minor. Revista Taylor & francis. Vol. 10, Pág. 278–288.

Hurtado, C. M., Gutiérrez, M., y Echeverry, J., 2008. 2008 Aspectos clínicos y niveles de plomo en niños expuestos de manera para ocupacional en el proceso de reciclaje de baterías de automóviles en las localidades de Soacha y Bogotá, D.C. revista biomédica. Vol. 28, Pág. 116-25.

INE 2006 (en línea). Normatividad existentes para contaminación de suelos. <http://www.inegob.mx/ueajei/publicaciones/libros/447/cap6.html> (consulta el día 17/04/2011).

Leal-Escalante, C .R., Baltazar-reyes, M. C., Lino-González, M., Palazuelos-Rendón, E. y Meneses-González, F., 2007. Concentraciones de plomo en sangre y reprobación de escolares en la ciudad de México. Gac méd Méx. Vol. 143, Pág. 1-5.

Lobo, M.d.C.D 2006 (en línea). Instituto madrileño de investigación agraria y alimentaria.://www.medioambiente.info/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid (consulta el día 23 de abril de 2011).

.López-Mesa, J. B., Quintero, G., Guevara-Vizcaíno, A. L., y Jaimes, D. C. 2006. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 4, Pág. 82 – 90.

López, M. L., Peralta-Videa, J. R., Parsons, J. G., Gardea-Torresdey, J. L., y Duarte-Gardea, M., 2009. Effect of indole-3-acetic acid, kinetin, and ethylenediaminetetraacetic acid on plant growth and uptake and translocation of lead, micronutrients, and macronutrients in alfalfa plants. Revista Taylor & Francis. Vol. 11, Pág. 131–149.

Luo, C., Shen, Z., Li, X., y Baker, A. J. M., 2006. The role of root damage in the chelate-enhanced accumulation of lead by Indian mustard plants. Revista Taylor & Francis. Vol. 8, Pág. 323–337.

Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, M., Giraldoth, D., y Velásquez, H., 2008. Contaminación por metales (pb, zn, ni y cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. Rev int contam ambient. Vol. 24, Pág. 171-182.

Marguí, E., González-Fernández, O., Hidalgo, M., Pardini, G., y Queralt, I., 2011. Aplicación de la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos-X en el estudio de la dispersión de metales en áreas mineras. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 122, Pág. 273-286.

Martí, L., Flavia-Filippini, M., Bermejillo, A., Troilo, S., Salcedo, C., y Valdés, A., 2009. Cadmium and lead monitoring in major copper fungicide brands marketed in Mendoza, Argentina. RevFca. Vol. 4, Pág. 109-116.

Mayta-Hancco, J., Palao-Iturregui, A., y Bravo-Portocarrero., 2010. Study and evaluation of total lead content in processed foods in batch expanders and redrawn traditional prototype. Revista ciencia agro. Vol 2, Pág. 181-187.

Maldonado-Chávez, E., Rivera-Cruz., M. C., Izquierdo-Reyes, F., Palma-López, D. J., 2010. Effects of rizosphere, microorganisms and fertilization on bioremediation and phytoremediation of soils with new and weathered crude oil. Revistaciencia. Vol. 26, Pág. 121-136.

Maxted, A. P., Black, C. R., West, H. M., Crout, N. M., McGrath, S. P. and Young, S. D., 2007 Phytoextraction of cadmium and zinc from arable soils amended with

sewage sludge using *Thlaspi caerulescens*: development of a predictive Environ Pollut, 150, 363-72.

Medel-Reyes, A., Ramos-Gómez, S., Averla-González, F. J., Mora-Tovar, L. A. G., y Rodríguez-Valadez, F., 2008. Caracterización de jales Mineros y Evaluación de su Peligrosidad con Base en su Potencial de Lixiviación. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 7, Pág. 32-35.

Melvin, D. R. y Nelson, C. C., 2006. Alternativa de tratamiento para tierras fuller contaminadas con aceite dieléctrico. Red de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 12, Pág. 419-424.

Monge-Amaya, O., Valenzuela-García, J. L., Acedo-Félix, E., Certucha-Barragán, M. T., y Almendáriz-Tapia, F. J., 2008. Biosorción de cobre en sistema por lote y continuo con bacterias aerobias inmovilizadas en zeolita natural (clinoptilolita). Rev int contam ambient. Vol. 24, Pág. 107-115.

Montaño-Arias, N. M., y Sandoval-Pérez, A. L., 2007. Contaminación atmosférica y salud. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal vol 14 pag 29-33

M, M. y Infantas, V., 2005 Lead poisoning. Rev. Soc. Per. Med. Inter. Vol. 18, Pág. 21-27.

Navarro-Aviño, J. P., Aguilar-Alonso, L. y López-Moya, J. R., 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en planta. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol 16, Pág. 1-18,

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. (Consulta 17 noviembre del 2011).

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio (consulta 17 de noviembre del 2011).

Núñez-Montoya, G.O Alarcon-Herrera, M.T., Melgoza-Castillo, A; Rodríguez-Almeida, F.A; Royo-Márquez, M. H., 2007. Evaluation of Three Native Species from the Chihuahuan Desert for use in Phytoremediation. Revista terra Latinoamericana. Vol. 25, Pág. 35-41.

Olguín, E. J., Hernández, M .E. y Sánchez-Galván, G., 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. Rev. int. contam. Ambient. Vol. 23, Pág. 139-154.

Ortiz-Cano, H. G., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J .G., Flores-Hernández, A. y López-Ariza, B., 2009. Phytoextraction of lead and cadmium in contaminated soils using pigweed (*Amaranthus hybridus* L.) and mycorrhiza. Revista Chapingo Serie Horticultura.Vol. 15, Pág. 161-168.

Palau, J., Marchesi, M., Otero, N., Canals, A., y Soler, A., 2009. Estudio de la relación suelo – acuífero en un emplazamiento contaminado por disolventes clorados. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal.Vol. 9, Pag. 1-8.

Poma, P. A., 2008. Lead Effects on humans. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 69, Pág. 120-26.

Parra, R., Ulery, A. L., Elless, M. P., y Blaylock, M. J., 2008. Transient phytoextraction agents: establishing criteria for the use of chelants in phytoextraction of recalcitrant metals.Revista taylor & francis. Vol. 10, Pág. 415–429.

Planets 2011 (en línea). Suelo contaminados con metales pesados [http://www.planets-voice.org/news.shtml?\(consulta el día 25 de abril 2011\)](http://www.planets-voice.org/news.shtml?(consulta el día 25 de abril 2011)).

Prieto-Méndez, J., González-Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., y Prieto-García, F., 2009. Plant contamination and phytotoxicity due to heavy metals from soil and water.Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 10, Pág. 29-44.

PROFEPA 2007 (en línea).Restauración de suelos contaminados. Grupo de trabajosobrerrrestauracion.<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/422/restauración.html> (consulta el día 23 de octubre).

Querol, X., 2008.calidad del aire, partículas en suspensión y metales. Rev esp salud pública.Vol. 82 Pág. 447-454.

Ramírez-Flores, E., Robles-Valderrama, E., Sainz-Morales, M. G., Ayala-Patiño, R., y Campoy-Ortero, E., 2009. Occurrence of coliforms and free-living amoebae in groundwater.RevistaLatinoamericana de recursos naturales.Vol. 5, Pág. 98-105.

Ramos, W., Munive, L., Alfaro, M., Calderón, M., González, I. y Núñez, Y., 2009. Chronic lead poisoning: a review of the environmental peruvian problema. Rev. Peru. Epidemiol. Vol. 13, Pág. 1- 8.



Riojas-González, H. H., Gortáres-Moroyoqui, P., Mondaca-Fernández, I., y Balderas-Cortes, J. J., 2011. Aplicación de Tween 80 y D-Limoneno en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 6, Pág. 572-584.

Rodriguez-Ortiz, J. C., Rodriguez-Fuentes, O. H., Lira-Reyes., G., Martínez-Cerda, J., y Lara-Mireles, J. L., 2006. Capacity of six plant species to accumulate lead in contaminated soils. Rev fitotec Mex. Vol. 29, Pág. 239-245.

Rodríguez-Serrano, M., Martínez-de la Casa, N., Romero-Puertas, M.C., Río, L. A., y Sandalio, L. M., 2008. Toxicidad del Cadmio en Plantas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 17, Pág. 139-146.

Romaniuk, R., Brandt, J. F., Ríos, P. R. y Giuffré, L., 2007. Natural attenuation and induced remediation in hydrocarbon polluted soils. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 25, Pág. 139-149.

Rosa, G., Cruz-Jiménez, G., Cano-Rodríguez, L., Fuentes-Ramírez, R. y Gardea-Torresdey, J. L. 2008. Effect of the plant stage and presence of a chelating agent on the tolerance and absorption of Cr (III) by *Helianthus annuus*. Revista Mexicana de ingeniería química. Vol. 7, Pág. 243-251.

Rosa-Pérez, D. A., Teutli-León, M. M. M., y Ramírez-Islas, M. E., 2007. Electroremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. Rev int contam ambient. Vol. 23, Pág. 129-138.

Ruiz, E., Rodriguez, L., Alonso-Azcárate, J., y Rincón, J., 2009. Phytoextraction of metal polluted soils around a Pb-Zn mine by crop plants. Revista Taylor & Francis. Vol. 11, Pág. 360-384.

Sacchi, G. A., y Serra, D. A., 2010. Actividad minera y cambio del paisaje en la zona Este de la ciudad de Córdoba, Argentina: un caso de estudio. Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 8, Pág. 221 - 228.

Saifullah., Ghafoor, A., y Qadir, M. 2009. Technical note lead phytoextraction by wheat in response to the EDTA application method. Revista Taylor & Francis. Vol. 11, Pág. 268-282.

Saracho, M., Iriarte, A., Rodríguez, C., y Rodríguez, N., 2007. Impacto de las lagunas de estabilización: influencia sobre el recurso hídrico subterráneo. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Vol. 11, Pág. 1-8.

Soongsombat, P., Kruatrachue, M., Chaiyarat, R., Pokethitiyook, P., y Ngernsarsaruy, C., 2009. Lead tolerance and accumulation in *Pteris vittata* and

pityrogramma calomelanos, and their potential for phytoremediation of lead-contaminated soil. *Revistataylor& francis*.Vol. 11, Pág. 396–412.

Surat, W., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Tanhan, P., y Samranwanich, T., 2008.Potential of sonchus arvensis for the phytoremediation of lead-contaminated soil.*Revista taylor &francis*.Vol. 10, Pág. 325–342.

Torres, G., Navarro, A. E., Languasco, J., Campos, K., y Cuizano, N. A., 2007. Preliminar studies of divalent cooper phytoremediation by *Pistia stratioides* (water lettuce). *RevistaLatinoamericana de recursos naturales*.Vol. 3, Pág 13-20.

Torres-Rodríguez, D., Cumana, A., Torrealba, O., y Posada, D. 2010. Use of vetiver for the fitoremediation of chromiun in residual sludges in a tennery.*Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 1, Pág. 175-188.

Valdés-Perezgasga, F., 1999 (en línea). El caso Peñoles: contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila. <http://www.texascenter.org/publications/torreon.pdf> (consulta el día 3 de noviembre del 2011).

Vallejo, V., Salgado, L. y Roldan, F. 2005. Bioestimulation process during the biodegradation of TPH in oil contaminated soils.*Rev colomb biotecnol*.Vol. 7, Pág. 67-78.

Viana, M. L. y Albarracin-Franco, S., 2008. Tolerancia experimental de las especies vegetales *Nicotiana glauca*, *Jacaranda mimosifolia*, *Tecoma stans*, *Medicago sativa* y *Spinacea oleracea* al boro, en Argentina. *Rev. Biol. Trop*. Vol.56, Pág. 1053-1061.

Viniegra, G., 1964 (en línea). La polución atmosférica e hídrica de Torreón, Coah., *Salud Pública Méx*. <http://www.sertox.com.ar/retel/n04/002.pdf> Vol 6 pag 405-414 (consulta el día 3 noviembre del 2011).

Yucra, S., Gasco, M., Rubio, J. y Gonzales, G. F., 2008. Occupational exposure to lead and organophosphorus pesticides effect on male reproductive health. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*.Vol. 25, Pág. 394-402.

Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, D., y Yendis, H., 2008. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedad química de suelo de la planicie de coro, estado falcon. *Red de revista científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal* Vol.20, Pág. 193-199.

