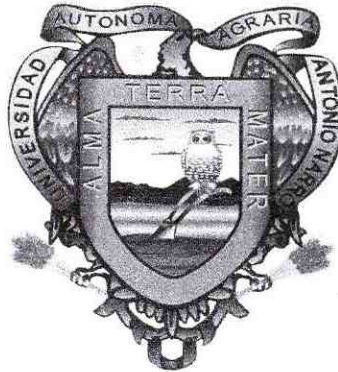


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Evaluación de la capacidad de absorción de plomo por *Cotoneaster* spp y
Atriplex canescens aledañas a Met- Mex Peñoles, Torreón, Coahuila,
México

P O R:

ROSA ISABEL ROMERO MELÉNDEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DE 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DE LA C. ROSA ISABEL ROMERO MELÉNDEZ QUE SE SOMETE A
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORES, COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL



DR. HECTOR MADINAVEITIA RIOS

ASESOR



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

ASESOR



I. I. Q. ELBA MARGARITA AGUILAR
MEDRANO

ASESOR



ING. JOEL LIMONES AVITIA



M. C. JAVIER ARAIZA CHÁVEZ

COORD. INTERINO DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DEL 2007

00088

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DE LA C. ROSA ISABEL ROMERO MELÉNDEZ QUE SE SOMETE A
LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE



DR. HECTOR MADINAVEITIA RIOS

VOCAL



DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

VOCAL



I. I. Q. ELBA MARGARITA AGUILAR
MEDRANO

VOCAL SUPLENTE



ING. JOEL LIMONES AVITIA



M. C. JAVIER ARAIZA CHÁVEZ

COORD. INTERINO DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DEL 2007

DEDICATORIA

A MIS PADRES

**ISIDRO ROMERO VÁZQUEZ
ROSA MELÉNDEZ HERNÁNDEZ**

Por el esfuerzo que realizaron para darme la oportunidad de estudiar y que esto se lograra por esto y muchas cosas mas , gracias, LOS QUIERO MUCHO.

A MIS HERMANOS

Austria, Moctezuma, Florencio, Ma. Victoria, Mario, Rosa Angélica, José Juan, gracias por comprenderme y sobre todo por ser verdaderos hermanos y amigos; que me motivaron para culminar mi formación como profesionista.

A MIS ABUELOS

**PASQUALA VAZQUEZ CHAIRES (F)
ALBINO ROMERO ROMERO (F)
ANGEL MELÉNDEZ GARCÍA
FRANCISCA HERNÁNDEZ TORRES**

A mis familiares y amigos, que de una u otra manera contribuyeron para que este trabajo saliera adelante.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por darme la vida y permitirme llegar hasta este momento de mi vida, por darme salud y cuidar de mi familia.

A MI ALMA TERRA MATER, por haberme cobijado proporcionando todos los elementos necesarios para formarme como profesionista.

Con todo respeto al Dr. Héctor Madinaveitia, por su valiosa colaboración, apoyo y paciencia para llevar a cabo la realización de esta investigación.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo por su valioso apoyo incondicional y motivación para realizar este trabajo de tesis.

Al I.I.Q. Elba Margarita Aguilar Medrano, por haberme apoyado en la realización de esta investigación, por su dedicación y paciencia.

Al Ing. Joel Limones Avitia, por su valioso apoyo y colaboración en la realización de este trabajo.

A todas las personas que me ayudaron y apoyaron en mi estancia en la escuela ,a todas ellas muchas gracias.

INDICE

	Página
INDICE	i
INDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivo específico	2
1.1.3 Hipótesis alternante	2
1.1.4 Meta	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Panorama de la problemática ambiental	4
2.2 Qué es el plomo	5
2.2.1 Efectos del plomo a la salud	5
2.2.2 Mecanismos de intoxicación por plomo	6
2.2.3. Efectos del plomo en la vegetación	6
2.2.4 Normatividad del plomo en el suelo	7
2.3. Descripción de las especies vegetales	7
2.3.1. Pingüico (<i>Cotoneaster</i> spp)	7
2.3.2 Costilla de Vaca (<i>Atriplex canescens</i>)	8
2.4. Remediación	8
2.4.1. Elementos para la elección de técnicas de remediación de suelos contaminados	9
2.4.2. Clasificación de las técnicas de remediación	9
2.5. Biorremediación.....	10
2.5.1. Tecnologías in situ	11

2.5.1.1. Bioventeo	12
2.5.1.2. Bioestimulación	12
2.5.1.3. Bioaumentación	13
2.5.1.4. Biolabranza	13
2.5.2. Biorremediación <i>ex situ</i>	14
2.5.2.1. Biorremediación en fase sólida (composteo).....	14
2.5.2.2. Biorremediación en fase de lodos (biorreactores)	14
2.6. Importancia de la biorremediación ambiental	15
2.7. Fitorremediación	16
2.7.1. Acciones para llevar acabo la fitorremediación	17
2.7.1.1. Fitoextracción	17
2.7.1.2. Rizofiltración	18
2.7.1.3. Fitoestabilización.....	18
2.7.1.4. Fitoestimulación	18
2.7.1.5. Fitovolatilización	19
2.7.1.6. Fitodegradación	19
2.7.1.7. Disipación	19
2.7.2 Proceso de entrada de los metales pesados a la planta	19
2.7.3. Límites de la fitorremediación	20
2.7.3.1. Sistema de la raíz	20
2.7.3.2. Tasa de crecimiento	20
2.7.4. Ventajas y desventajas de la fitorremediación	21
2.7.4.1. Ventajas	21
2.7.4.2. Desventajas	22
III. MATERIALES Y METODOS	23
3.1. Localización del área de muestreo	23
3.1.1. Trabajo de campo	23
3.1.1.1. Muestreo de suelo	23

3.1.1.2 Muestreo de planta	24
3.1.2. Trabajo de gabinete	24
3.1.2.1 Análisis de laboratorio	24
3.1.2.2. Análisis de resultados obtenidos	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. RECOMENDACIONES	41
VII. LITERATURA CITADA	42

INDICE DE CUADROS.

Cuadro	Página	
1	<p>CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO CON PINGÜICO (<i>Cotoneaster</i> spp) Y COSTILLA DE VACA (<i>Atriplex canescens</i>) DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES, CON UNA ORIENTACION NORTE, NOROESTE, SUROESTE Y ESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.....</p>	26
2	<p>CONCENTRACION DE PLOMO EN LAS RAICES DE <i>Cotoneaster</i> spp Y <i>Atriplex canescens</i> DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES, CON UNA ORIENTACION ESTE, NOROESTE, NORTE Y SUROESTE. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.....</p>	28
3	<p>CONCENTRACION DE PLOMO EN LOS TALLOS DE <i>Cotoneaster</i> spp Y <i>Atriplex canescens</i> DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES, CON UNA ORIENTACION ESTE, NOROESTE, NORTE Y SUROESTE. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.....</p>	30
4	<p>CONCENTRACION DE PLOMO EN LAS HOJAS DE <i>Cotoneaster</i> spp Y <i>Atriplex canescens</i> DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES, CON UNA ORIENTACION ESTE, NOROESTE, NORTE Y SUROESTE. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.....</p>	32
5	<p>CONCENTRACION TOTAL DE PLOMO EN SUELO, RAICES, TALLOS Y HOJAS DE <i>Cotoneaster</i> spp Y <i>Atriplex canescens</i> DE AREA COLINDANTE A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.....</p>	34
6	<p>PROMEDIO TOTAL DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO Y EN LAS ESTRUCTURAS DE LAS ESPECIES <i>Cotoneaster</i> spp Y <i>Atriplex canescens</i> . TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006...</p>	36
7	<p>REGRESIÓN SIMPLE DE SUELOS, RAICES, TALLOS Y HOJAS DE <i>Cotoneaster</i> spp. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.....</p>	38

RESUMEN.

La fitorremediación, incluye la interacción de las plantas con los contaminantes, que alteran el medio ambiente y que presentan riesgo a la salud de las personas que se encuentran en áreas que están contaminadas con plomo. Es por ello que con el presente estudio se evaluaron 2 especies vegetales las cuales son la Costilla de Vaca (*Atriplex canescens*) y el Pingüico (*Cotoneaster* spp), para determinar la concentración de plomo que existe en cada una de estas especies, y saber si estas tienen la capacidad de considerarse especies fitorremediadoras de plomo. Estas muestras se extrajeron de puntos específicos aledaños a la industria Met- Mex Peñoles la cuál esta ubicada al sur de la ciudad de Torreón Coahuila.

Extrayendo muestras de diferentes puntos y a diferentes orientaciones como fueron el norte, suroeste, noroeste y este. El primer muestreo se llevó acabo el día 24 de marzo de 2006, del cual se extrajeron 3 muestras de cada planta y el segundo muestreo se realizó el día 08 de junio de 2006, extrayendo 2 muestras de cada especie vegetal. Se evaluó la capacidad de absorción de plomo de cada especie, tomando en cuenta la raíz, el tallo, la hoja y el suelo de cada una de las especies.

Al comparar la capacidad fitorremediadora entre *Cotoneaster* spp y *Atriplex canescens* se observó que la última presentó mayor capacidad, mientras que la raíz es la estructura que mas acumula plomo en sus células. Así mismo se mostró que ambas especies tienen buena capacidad fitorremediadora de plomo.

1. INTRODUCCIÓN.

Según diversos estudios, el 35% del plomo inhalado por el hombre se deposita en los pulmones mientras que aproximadamente el 10% del plomo ingerido en los alimentos y las bebidas es absorbido por el organismo. No es posible estimar, a partir de datos metabólicos, el aporte del plomo atmosférico a la ingesta total diaria. Sin embargo, si se utilizan los valores persistentes de plomo en sangre como medida de absorción plúmbica, cabe suponer, que una exposición continua de 1 μg de plomo por 3 m^3 de aire produce niveles de plomo de 1.0-2.0 $\mu\text{g}/100$ ml de sangre (Ceto, 2002).

Podría pensarse que la ciencia no puede eliminar este tipo de contaminante tan duradero sino mediante tecnologías muy laboriosas, costosas e invasivas. Sin embargo, en los últimos años se está desarrollando una novedosa tecnología para eliminar muchos de los contaminantes de zonas afectadas, una tecnología limpia, barata y sorprendentemente eficaz. Se trata de la técnica llamada fitorremediación, que consiste en plantar en las zonas contaminadas determinadas especies de vegetales, de reconocida capacidad para absorber y concentrar las sustancias tóxicas (Harvey *et al.*, 2002).

Cuando se utilizan las plantas fitorremediadoras para "limpiar" zonas contaminadas, es necesario retirar después la biomasa producida, pues contiene una concentración normalmente bastante elevada de peligrosos contaminantes que retornarían al suelo si se dejara a las plantas morir en el mismo lugar donde crecieron (Dushenkov, 2003).

A simple vista parecen demasiados requerimientos, pero ya hemos comprobado otras veces que el ingenio humano no conoce límites a la hora de manipular organismos vivos, especialmente cuando se trata de una tecnología tan deseable y necesaria. En cualquier caso, la Fitorremediación es una técnica floreciente, con un presente asombroso y un futuro muy prometedor (Wangensteen, 2002).

1.1 OBJETIVOS.

1.1.1 Objetivo general:

Determinar la capacidad de absorción de plomo del Pingüico (*Cotoneaster* spp) y Costilla de vaca (*Atriplex canescens*) aledañas a la industria Met-Mex Peñoles, de la ciudad de Torreón, Coahuila.

1.1.2 Objetivo específico:

Determinar la cantidad de plomo en ppm absorbido por las especies Pingüico (*Cotoneaster* spp) y Costilla de vaca (*Atriplex canescens*), a nivel de tallo, raíz y hoja. Ubicadas en zonas aledañas y lejanas a la industria Met- Mex Peñoles.

Determinar el contenido de Plomo en ppm en el suelo en zonas aledañas y lejanas a Met- Mex Peñoles.

1.1.3 Hipótesis alternante:

- Existe plomo en el suelo en las áreas aledañas a la industria Met- Mex peñoles.

-Las especies evaluadas satisfacen las condiciones requeridas para ser fitorremediadoras de plomo.

1.1.4. Meta:

Obtener resultados que demuestren que las especies evaluadas son determinadas como planta fitorremediadoras de plomo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

El plomo es un elemento metálico, denso, de color gris azulado. Es uno de los primeros metales conocidos. El plomo reacciona con el ácido nítrico, pero a temperatura 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 (Wikipedia,2002).

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 de polvo. En el caso de los compuestos organoplúmbicos, la absorción a través de la piel puede llegar a ser significativa hasta muy importante. Algunos de los síntomas de envenenamiento por plomo son dolor de cabeza, vértigo, migrañas, cefalea, psicosis, delirios e insomnio. En los casos agudos, por lo común se presenta estupor, el cual progresa hasta el coma y termina en la muerte (García, 2002).

El plomo también produce disminución de la inteligencia, retraso en el desarrollo motor, deterioro de la memoria y problemas de audición y equilibrio. En adultos, el plomo puede aumentar la presión sanguínea (EPA, 2002).

La fitorremediación podría ser definida como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o dosificar 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 definírsela 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 (Lumelli, 2006).

2.1. Panorama de la Problemática ambiental.

Uno de los problemas más serios asociado 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 (Holmes *et al.*, 1997). El plomo orgánico, al reaccionar con compuestos halogenados derivados de los aditivos, produce 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 (Doull *et al.*, 1996).

De acuerdo con estadísticas presentadas por la Procuraduría de Protección al Ambiente, cada año se presentan en México un promedio de 550 sitios contaminados con materiales y residuos peligrosos. Dentro de los compuestos peligrosos más comúnmente involucrados se encuentran el petróleo y sus derivados (PROFEPA, 1999).

La compañía metalúrgica Met-Mex Peñoles de Torreón Coahuila, entró en operación en 1901, siendo en 1917 la fecha adquirida por la compañía de minerales y metales entonces subsidiada por la empresa norteamericana American Metal Company y se fusionó con la compañía minera de peñoles en 1920 (Valdés y Cabrera, 1999). El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos –de hecho ocurre lo contrario- sino que de los tres es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo (López, 1999).

2.2 Que es el plomo.

El plomo es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre. Sin embargo, raramente se encuentra en la naturaleza en la forma de metal. Generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo (Matte, 2002).

2.2.1 Efectos del Plomo a la Salud.

Durante las últimas décadas se ha acumulado una cantidad considerable de evidencia epidemiológica que demuestra que los niveles comunes de exposición al plomo en la población mundial ocasionan efectos adversos en la salud (Patterson *et al.*, 2001).

Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. Nunca desaparece sino que se acumula en los sitios en los que se deposita (Valdés y Cabrera, 1999).

Demasiado plomo en el organismo humano puede causar graves daños al cerebro, riñón, sistema nervioso y glóbulos rojos (EPA, 2000).

Como sucede con muchos tóxicos ambientales, los niños en edad temprana son más susceptibles que los adultos debido a que tienden a ingerir y a absorber más plomo, en relación con su talla, y tomando en cuenta, por otro lado, la velocidad del desarrollo cerebral a esa edad (Landrigan *et al.*, 2001).

La medición de los niveles de plomo en sangre ha sido ampliamente validada como un indicador de riesgo para la salud, si bien la oportunidad y el grado de

elevación de los niveles asociados con el daño varían según el efecto que interesa (Goering, 2003).

El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, aire, agua y en los hogares. El límite máximo permisible de plomo en la sangre de un niño según la Norma Oficial Mexicana, es de 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$, sin embargo es importante resaltar que este nivel no es seguro ni es normal, ni es deseable. Las autoridades médicas reconocen que no se ha identificado un umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo (Valdés y Cabrera, 1999).

2.2.2 Mecanismos de Intoxicación por plomo.

El plomo trastorna fundamentalmente los procesos bioquímicos de, virtualmente, todas las células y los sistemas del organismo. Se une a las proteínas, particularmente a aquellas de los grupos del sulfhidrilo, de tal manera que puede alterar su estructura y su función, o bien competir con otros metales en los sitios de enlace (Markovac, 2000).

2.2.3 Efectos del plomo en la vegetación.

Dado que el plomo es acumulativo, este tiene un movimiento lento dentro de las plantas, pero en altas concentraciones las cuales pueden ser tóxicas para los cultivos, estos pueden presentar un crecimiento lento o no se llegan a desarrollar normalmente (América, 2004).

2.2.4 Normatividad de plomo en el suelo.

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).

El nivel máximo en los Estados Unidos, para considerar que un sitio ya no esta contaminado es de 500 $\mu\text{g/g}$ (500 partes por millón) (Al Benin *et al.*, 1999) y para determinar la contaminación de plomo en el caso de suelos de uso residencial y recreativo se utiliza el siguiente indicador: 400 mg de plomo /kg suelo (EPA 2006).

El valor límite de plomo en el suelo, según la normatividad española es de 50-300 ppm. El valor de 50 se emplea en suelos con pH menor de 7, por lo tanto el de 300 se emplea para suelos con pH mayor a 7 (La Caxia, 1995).

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES.

2.3.1 Pingüico (*Cotoneaster* spp).

Son pequeños árboles con hojas pecioladas, estipuladas, alternadas, deciduas o persistentes; flores solitarias o dispuestas en cimas, sépalos, pétalos blancos o de color rosa, estambres alrededor de 20, carpelos de 2 a 5;

fruto negro a rojo, carnoso, con 2 a 5 huesos. Unas 40 especies de regiones Africanas del Norte, Europa y Asia. Algunos son cultivados como arbustos ornamentales, sobre todo por sus vistosos frutos rojos que persisten solo en el invierno (Calderón y Rzedowski, 2001).

2.3.2 Costilla de vaca (*Atriplex canescens*).

Arbusto perenne, usualmente de 40 cm a 250 cm de alto, ligera a densamente ramificada; tallo erecto, algo robusto, grisáceo; hojas de 1-5 cm de largo, sésiles, linear espatuladas, ligeramente oblongas, cuneadas hacia la base, usualmente obtusas hacia el ápice, enteras, algo gruesas, con pelos grisáceos a glabras en la madurez; flores femeninas y masculinas en plantas separadas, rara vez en la misma planta; las flores estaminadas en glomérulos en densas espigas, en panículas terminales; cuerpo frutescente con brácteas pequeñas, comprimidas, unidas en la cumbre, de 4-15 mm de largo, raramente más largas; semillas pardas, de 1.5-2.5 mm de ancho (SEMARNAT, 2006).

2.4 REMEDIACIÓN.

El termino remediación, no esta definido en México en algún documento oficial, actualmente es utilizado para referirse a todas aquellas acciones aplicadas a suelo y acuíferos que conduzcan a la reducción de niveles de contaminación o a reparar un daño que ya fue ocasionado (Cortinas y Mosler, 2002).

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 contaminante, 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, 2005).

La elección de las alternativas, debe hacerse en base a una serie criterios:

- 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.

A escala mundial, se han desarrollado un gran numero de opciones de remediación para suelos contaminados, mismos que se puedan clasificar de diferentes maneras. Una de las clasificaciones más comunes se hace en base a su funcionamiento teniendo en cuenta técnicas biológicas, fisicoquímicas y térmicas. Otra clasificación se basa en el efecto sobre el contaminante, de tal forma que se tienen técnicas de retención, extracción, separación y destrucción del contaminante. En la practica, las dos clasificaciones mencionadas son

válidas e incluso complementarias, ya que generalmente estas clasificaciones son combinadas (Cortinas y Mosler, 2002).

Las técnicas de remediación se clasifican de acuerdo al principio de su funcionamiento (Siebe *et al.*, 1999).

Biológicos:	Biorremediación, Fitorremediación.
Fisicoquímicos:	Solidificación, estabilización, extracción de vapores.
Térmicas:	Destrucción por inyección de vapores, incineración.

2.5 BIORREMEDIACIÓN.

La biorremediación se define como un procedimiento natural, a lo largo del cual distintos microorganismos son capaces de eliminar los contaminantes orgánicos e inorgánicos de un determinado medio. La mayoría de los microorganismos son capaces de utilizar compuestos presentes en su entorno y transformarlos en precursores de sus constituyentes celulares, ya que obtienen ellos, la energía que necesitan para realizar los procesos biosintéticos. A causa de esta capacidad de adaptación, las bacterias del suelo y algunos hongos son capaces de metabolizar nucleidos y radicales relativamente inertes y utilizarlos como fuente de carbono y energía para su crecimiento. De aquí surge el interés de usar microorganismos en la transformación de productos de desecho tanto industriales como naturales. De esta forma además de poder abordar la contaminación ambiental de sustancias tóxicas y/o persistentes, se conseguiría la integración del carbono y del nitrógeno contenido en los compuestos de estructura inerte al ciclo biológico del suelo, con lo que se contribuiría al mantenimiento del propio equilibrio biológico en la naturaleza (Lobo, 2005).

Las rutas de biodegradación de los contaminantes orgánicos, varían en función de la estructura química del compuesto y de la especie degradadora. El

proceso de biorremediación incluye reacciones de oxido- reducción, proceso de absorción e intercambio iónico, incluso reacciones de acomplejamiento (Saval, 1998).

El fundamento de esta técnica está basado en que muchos de los compuestos xenobióticos son semejantes a los naturales y, por tanto, factibles de degradación o inertización (Galli, 2002).

La biorremediación utiliza la habilidad de los microorganismos para degradar compuestos orgánicos. Esta tecnología esta basada en el uso de organismos naturales o mejorados genéticamente para recuperar sitios contaminados y proteger el ambiente. El proceso de biorremediación puede clasificarse de acuerdo al organismo que efectúe la degradación del compuesto xenobiótico (Marivela *et al.*,2002)

2.5.1 Tecnologías *in situ*.

Las técnicas *in situ* buscan estimular y crear un ambiente favorable para el crecimiento microbiano a partir de los contaminantes. Este objetivo generalmente puede lograrse con el suministro de aire y oxígeno (bioventeo), nutrientes (bioestimulación), microorganismos (bioaumentación), y/o humedad, además del control de la temperatura y pH. Lógicamente, el impacto ambiental inducido es bajo, pues el tratamiento solo implica la instalación del equipo adecuado, los costes económicos suelen ser muy competitivos y en principio son métodos fácilmente aplicables a diversas situaciones (EPA, 2001).

2.5.1.1 Bioventeo.

Es un tratamiento de biorrecuperación *in situ* consistente en la ventilación forzada del suelo mediante la inyección a presión de oxígeno en la zona edáfica no saturada mediante pozos de inyección. Debido a la aireación del suelo se va a favorecer la degradación de los hidrocarburos por dos motivos: por volatilización, facilitando la migración de la fase volátil de los contaminantes, y por biodegradación, ya que al incrementar la oxigenación del suelo se va a estimular la actividad microbiana (Arroyo *et al.*, 2002).

Además de favorecer la degradación de contaminantes absorbidos, se ha utilizado con éxito para remediar suelos contaminados con solventes no clorados, pesticidas y algunos otros químicos (Van Deuren *et al.*, 1997).

2.5.1.2 Bioestimulación.

Es un método *in situ* que combina el efecto de la ventilación con la utilización de microorganismos autóctonos para degradar compuestos orgánicos absorbidos por el suelo en la zona saturada. En la *bioestimulación* el aire y los nutrientes se inyectan en la zona saturada para mejorar la actividad de los microorganismos presentes. Ésta técnica se utiliza para la limpieza de los compuestos orgánicos en suelos y agua subterránea. Se ha demostrado la eficiencia de la bioestimulación para la degradación de herbicidas como la atrazina (Crawford *et al.* 2000).

2.5.1.3 Bioaugmentación.

Esta tecnología es utilizada cuando se requiere el tratamiento inmediato de un sitio contaminado, o cuando la microflora autóctona es insuficiente en número o capacidad degradadora. Consiste en la adición de microorganismos vivos, que tengan la capacidad para degradar el contaminante, para promover su biodegradación o su biotransformación (Abed *et al.*, 2002).

Antes de llevar a cabo la bioaugmentación en un sitio, deben realizarse cultivos de enriquecimiento, aislar microorganismos capaces de metabolizar o utilizar el contaminante como fuente de carbono y cultivarlos hasta obtener grandes cantidades de biomasa (Alexander, 1994).

2.5.1.4 Biolabranza.

Durante este proceso, la superficie del suelo contaminado es tratado en el mismo sitio por medio del arado. El suelo contaminado se mezcla con agentes de volumen y nutrientes, se remueven periódicamente para favorecer su aireación. Las condiciones del suelo (temperatura, pH) se controlan para optimizar la velocidad de degradación y generalmente se incorporan cubiertas u otros métodos para tener un control de los lixiviados (Saval, 1998).

2.5.2 Biorremediación ex situ.

2.5.2.1 Biorremediación en fase sólida (composteo).

El composteo es un proceso biológico controlado, por el cual pueden tratarse suelos y sedimentos contaminados con compuestos orgánicos biodegradables, para obtener subproductos inocuos estables. El material contaminado se mezcla con agentes de volumen (paja, aserrín, estiércol, desechos agrícolas), que son sustancias orgánicas sólidas biodegradables, adicionadas para mejorar el balance de nutrientes, así como para asegurar una mejor aireación y la generación del calor durante el proceso. Los sistemas de composteo incluyen tambores rotatorios, tanques circulares, recipientes abiertos y biopilas (Semple *et al.*, 2001).

2.5.2.2 Biorremediación en fase de lodos (biorreactores).

Los biorreactores pueden usarse para tratar suelos heterogéneos y poco permeables, o cuando es necesario disminuir el tiempo de tratamiento, ya que es posible combinar controlada y eficientemente, procesos químicos, físicos y biológicos, que mejoren y aceleren la biodegradación (Reiser, 1998).

Uno de los reactores más utilizados para biorremediar suelos es el biorreactor de lodos, en el cual el suelo contaminado se mezcla constantemente con un líquido, y la degradación se lleva a cabo en la fase acuosa por microorganismos en suspensión o inmovilizados en la fase sólida. El tratamiento puede realizarse también en lagunas construidas para este fin o bien en reactores sofisticados con control automático de mezclado (Alexander, 1994).

2.6 Importancia de la biorremediación ambiental.

Las técnicas de remediación representan alternativas a la disposición en tierra de desechos peligrosos que no han sido tratados y sus capacidades o posibilidades de éxito, bajo condiciones específicas del sitio, pueden variar ampliamente (Al- daher, 1999).

Estas prácticas de remediación consisten principalmente en el uso de diferentes organismos (plantas, levaduras, hongos, bacterias, etc.) del medio para neutralizar sustancias tóxicas, bien transformándolas en sustancias de carácter menos tóxico o bien convirtiéndolas en inocuas para el medio ambiente y la salud humana (Galli, 2002).

Cuando las concentraciones de los contaminantes es muy alto, puede que ocurra inhibición del desarrollo microbiano (disminuya su capacidad de metabolización) o que intoxique a los microorganismos y que estos mueran, ocasionando que la técnica que se utilizó para remediar no sea satisfactoria (Abiola y Olenyk, 1997).

2.7. Fitorremediación.

Es una de las tecnologías a las que se dirige en la actualidad el mayor interés, se define como la utilización de plantas para llevar a cabo acciones de eliminación o transformación de contaminantes. La ventaja de esta técnica se basa en el bajo impuesto de los costos, su contribución a la estabilización del suelo, así como a la mejora del paisaje, y reduce los lixiviados de agua y el transporte de los contaminantes inorgánicos del suelo (Lobo, 2005).

La fitorremediación, que consiste en plantar en las zonas contaminadas determinadas especies de vegetales, de reconocida capacidad para absorber y concentrar las sustancias tóxicas. Son las conocidas como especies hiperacumuladoras (Wangensteen, 2002).

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 definirsele 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, 2006).

La fitorremediación emplea plantas para eliminar la contaminación del medio ambiente. Las plantas ayudan a eliminar muchos tipos de contaminación como metales, plaguicidas, explosivos y el petróleo en el suelo y las aguas subterráneas. Las plantas también contribuyen a impedir que el viento, la lluvia y las aguas subterráneas extiendan la contaminación a otras zonas (EPA, 2001).

La fitorremediación consiste en el uso de plantas verdes para contener, remover o neutralizar compuestos orgánicos, metales pesados o radionucleidos (Lai y Lester, 2002).

La fitorremediación puede aplicarse eficientemente para tratar suelos contaminados con compuestos orgánicos como el benceno, etilbenceno, xilenos, etc; agroquímicos organofosforados; compuestos inorgánicos de Cadmio, Cobre, Plomo, Selenio y Zinc (Sellers et al., 1999).

La fitorremediación es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos medianamente largos. Sin embargo, es preciso considerar que el proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces (Lumelli, 2006).

2.7.1 Acciones para llevar acabo la fitorremediación.

2.7.1.1. Fitoextracción.

Captación del contaminante y acumulación para su eliminación. Llevando a cabo la extracción de los contaminantes con plantas hiperacumuladoras. Tanto las plantas como las enmiendas que se aplican al suelo se utilizan para extraer o cambiar la forma química de los contaminantes en el medio ambiente disminuyendo la disponibilidad química o biológica que causaría el peligro de contaminación (Lumelli, 2006).

2.7.1.2. Rizofiltración.

Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos, por ejemplo: Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc, etc (Pivetz, 2001).

2.7.1.3. Fitoestabilización.

Consiste en llevar a cabo inactivaciones "in situ" de los contaminantes por medio de revegetación, inmovilizando los metales o utilizando enmiendas con capacidad fijadora.

Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar que pasen a las aguas subterráneas o al aire (Van Deuren *et al.*, 1997).

2.7.1.4. Fitoestimulación.

Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos) de hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc (Sellers *et al.*, 1999).

2.7.1.5 Fitovolatilización.

Captación del contaminante y volatilización del mismo. Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración (Lobo, 2005).

2.7.1.6. Fitodegradación.

Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos (Lumelli, 2006).

2.7.1.7. Disipación.

La volatilización o transpiración es otro mecanismo para eliminar los contaminantes de la tierra o el agua de algún sitio. Esta técnica es usada principalmente para compuestos orgánicos (EPA, 2000).

2.7.2. Proceso de entrada de los metales pesados en la planta.

La fitorremediación aprovecha los procesos naturales de las plantas. En estos procesos se incluye la captación química, el metabolismo de la planta y los impactos físicos y químicos de las raíces de las plantas, ya que en estas es donde se absorbe, precipita y se concentran los contaminantes, también son eficientes extrayendo el agua contenida en la tierra, este extracto se sigue hacia la parte superior por el xilema. La transpiración (perdida de vapor de agua de la planta) ocurre principalmente por los estomas (apertura de las hojas y tallos donde ocurre el intercambio de gases) (EPA, 2002).

2.7.3. Límites de la fitorremediación.

Información temprana proporcionada por algunas investigaciones que se han realizado, señalan que ya existen ciudadanos dueños de sitios contaminados, interesados en esta tecnología limpia y económica. Aunque la investigación actual continúa estudiando y explorando las limitaciones de esta técnica. Hasta ahora existen ciertas limitaciones basados en los sistemas remediación-planta (Pivetz, 2001).

2.7.3.1. Sistema de la raíz.

Una de las principales limitaciones de la fitorremediación es el contacto de la raíz, ya que se requiere que el contaminante esté en contacto con la zona de la raíz de las plantas u otra sería que las plantas extiendan raíces hasta el estrato contaminado o que los contaminantes se muevan dentro del rango de las plantas (Kanossa., *et al* 1999).

2.7.3.2. Tasa de crecimiento.

La fitorremediación es limitada por la falta de crecimiento de la planta. Ya que se requiere mas tiempo para fitorremediar un sitio si se compara con otras técnicas tradicionales. Por consiguiente, para sitios que representan riesgos agudos para el ser humano y otros aspectos ecológicos, la fitorremediación no sería la mejor opción para remediar ese sitio (Pivetz, 2001).

2.7.4. Ventajas y desventajas de la fitorremediación.

2.7.4.1. Ventajas.

1. Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos contaminados (INEEL, 2002).

2. Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos (INEEL, 2002).

3. Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos (EPA, 2000).

4. Los costos de la fitorremediación comparados con otras técnicas de remediación son mas bajos (INEEL, 2002).

5. No presenta impacto destructivo en la fertilidad de los suelos. Por el contrario, es probable que la presencia de las plantas mejore la condición global del suelo (ITRC, 1999).

6. Puede aplicarse *in situ*, en tierra poco profunda y además en cuerpos de riego (Ernst, 1996).

2.7.4.2. Desventajas.

1. El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas (ITRC, 1999).
2. Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados. Por ejemplo con el crecimiento y la biomasa bajo la remediación de metales no podrá lograrse dentro de 10-20 años (ITRC, 1999).
3. La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.
4. Un sistema de fitorremediación puede perder su efectividad durante el invierno, ya que en este tiempo el crecimiento de la planta se retarda o se detiene (EPA, 2000).

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Localización del área de muestreo.

El presente trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Torreón Coahuila, ubicada a los 25°30' de latitud norte y a los 103°21' de longitud oeste y específicamente en áreas aledañas a la industria Met- Mex Peñoles ubicada al sur de la ciudad, durante los meses de marzo- junio del 2006.

La metodología empleada se dividió en dos: trabajo de campo y trabajo de gabinete.

3.1.1. Trabajo de campo.

Este fue dividido a su vez en : muestreo de suelo y muestreo de plantas.

La orientación de las zonas muestreadas fueron al norte, noroeste, suroeste y este, tomando como referencia las instalaciones de Met- Mex Peñoles.

3.1.1.1. Muestreo de suelos:

Las muestras se sacaron de una profundidad de 0-5 cm.

En áreas aledañas a Peñoles se tomaron tres muestras de suelo de la planta de Pingüico (*Cotoneaster* spp) y dos muestras de suelo de la planta de Costilla de Vaca (*Atriplex canescens*).

En áreas lejanas a Peñoles se tomó una muestra de suelo de Pingüico (*Cotoneaster* spp) y una muestra de suelo de la planta de Costilla de Vaca (*Atriplex canescens*).

3.1.1.2. Muestreo de plantas:

En áreas aledañas a Peñoles:

Se tomaron 3 muestras de la raíz en una extensión de 0-5 cm de profundidad, 3 del tallo y 3 de la hoja del Pingüico (*Cotoneaster* spp).

Se tomaron 2 muestras de la raíz con una extensión de 0-5 cm de profundidad, 2 del tallo y 2 de la hoja del la planta de Costilla de Vaca (*Atriplex canescens*).

En áreas lejanas a Peñoles:

De la planta de Pingüico (*Cotoneaster* spp) se tomó una muestra de la raíz, una del tallo y una de la hoja.

De la planta de Costilla de Vaca (*Atriplex canescens*) se tomó una muestra de la raíz, una del tallo y una de las hojas.

3.1.2. Trabajo de gabinete:

Este se dividió en 2 partes: Análisis de laboratorio y análisis de resultados obtenidos.

*** 3.1.2.1. Análisis de laboratorio.**

Se analizaron muestras, tanto de suelo como de las plantas, para determinar la concentración de plomo.

Las muestras de suelo obtenidas se emplearon para determinar el contenido de plomo mediante la técnica recomendada por el IRENAT "Determinación de plomo extraíble con HNO₃ 4 molar" realizando su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer 2380).

Las muestras de las plantas tanto de las raíces como de los tallos y las hojas obtenidas de cada especie fueron empleadas para realizar la determinación de plomo total mediante la técnica recomendada por el IRENAT "Solubilización de Pb, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn por digestión con $\text{HClO}_4/\text{HNO}_3$ ". Realizando las lecturas de concentración de plomo el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer 2380).

3.1.2.2. Análisis de resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos tanto en suelo como en raíz, tallo y hoja de cada especie, fueron sometidos a un análisis estadístico, en el cuál se obtuvieron los promedios de la concentración de plomo de las áreas cercanas a peñoles y se compararon las concentraciones de plomo halladas, con los límites máximos permisibles en suelo de los E. U. A., y de concentración máxima permisible de plomo en la sangre. Así mismo se sometieron a un análisis de regresión simple en el cuál las variables dependientes fueron las raíces, tallos y hojas, mientras que la variable independiente fue la concentración de plomo hallado en cada estructura vegetal de *Cotoneaster* spp. El coeficiente de determinación servirá para la estimación de la capacidad de retención de plomo por cada estructura vegetal evaluada.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

CUADRO 1 CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO CON PINGÜICO (*Cotoneaster* spp) Y COSTILLA DE VACA (*Atriplex canescens*) DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑÓLES, CON UNA ORIENTACION NORTE, NOROESTE, SUROESTE Y ESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.

Muestras	Distancia (m)	Orientación	Concentración de Pb (ppm)	Límites máximos permisibles en suelos de EUA. (ppm)	Límites máximos permisibles de plomo en la sangre. (ppm)
Suelo con <i>Cotoneaster</i> spp.					
1	10	Norte	1431		
2	50	Suroeste	1705		
3	1 000	Suroeste	780.98	500	0.1
4	6650	Este	46.1		
Promedio			1305.66		
Suelo con <i>Atriplex canescens</i>					
1	1000	Suroeste	3355.1		
2	1500	Suroeste	459.32		
3	20000	Noroeste	113.4		
Promedio			1907.21		

En el Cuadro 1 en relación al suelo con *Cotoneaster* spp se observó que la mayor concentración de plomo fue a 50 m de distancia a orientación suroeste con 1705 ppm valor con poca diferencia respecto a la distancia de 10 m con orientación norte. Se observó que a mas o menos 1000 m disminuyó significativamente la concentración de plomo hasta 780 ppm. Mientras que la muestra sacada en el área lejana presentó la menor concentración que fue de 46.1 ppm en promedio la concentración de plomo en el suelo con *Cotoneaster* fue de 1305.66 ppm.

En el mismo Cuadro al analizar el suelo de *Atriplex canescens* se observó que la mayor concentración de plomo se obtuvo a una distancia de 1000 m rumbo al suroeste con 3351.1ppm y bajó considerablemente a 1500 m por el mismo rumbo con una concentración de 459.32 ppm. La concentración de plomo a una distancia de 20000 m con rumbo al noroeste, bajó hasta 113.4 ppm. En promedio la concentración de plomo fue de 1907.21 ppm.

Comparando los valores obtenidos tanto de suelo con *Cotoneaster* como en suelo de *Atriplex canescens* se observó que a la distancia de 1000 m el suelo en la última especie presento una concentración mayor de plomo con 3355.1 ppm, en relación con la concentración de 1705 ppm alcanzada en suelo con *Cotoneaster* a pesar de que la distancia fue mayor en el suelo con *Atriplex canescens*. En promedio la concentración de plomo fue mayor en el suelo con *Atriplex canescens*.

Al comparar las concentraciones obtenidas en las muestras como en el promedio se observó que están bastante por encima de los límites de máximos permisibles en suelo de los E. U. A., y de los límites máximos permisibles de plomo en la sangre, de los seres humanos.

CUADRO 2 CONCENTRACION DE PLOMO EN LAS RAICES DE *Cotoneaster* spp Y *Atriplex canescens* DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑALES, CON UNA ORIENTACION ESTE, NOROESTE, NORTE Y SUROESTE. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.

Muestras	Distancia (m)	Orientación.	Resultados de Pb. (ppm)	Límites máximos permisibles en suelos de EUA. (ppm)	Límites máximos permisibles de plomo en la sangre. (ppm)
Raíces de <i>Cotoneaster</i> spp.					
1	10	Norte	861		
2	50	Suroeste	270		
3	1 000	Suroeste	166.75	500	0.1
4	6650	Este	27.5		
Promedio			432.58		
Raíces de <i>Atriplex canescens</i>					
1	1000	Suroeste	1192.75		
2	1500	Suroeste	90.25	500	0.1
3	20000	Noroeste	61.5		
Promedio			641.5		

En el Cuadro 2 en relación a la raíz de *Cotoneaster* spp, se observó que la mayor concentración de plomo fue a los 10 m de distancia con orientación al norte con 861ppm, se observó que a los 1000 m al suroeste disminuyó considerablemente la concentración de plomo siendo esta de 166.75 ppm, mientras que en la muestra sacada en el área lejana a Peñoles presentó una menor concentración que fue de 27.5 ppm en promedio la concentración de plomo en la raíz de *Cotoneaster* spp fue de 432.58 ppm.

En el mismo cuadro analizando la raíz de *Atriplex canescens* se observó que la mayor concentración de plomo se encontró a los 1000 m de distancia con orientación al suroeste presentando 1192.75 ppm y bajó considerablemente a una distancia de 1500 m por la misma orientación con una concentración de 90.25 ppm. La concentración de plomo a una distancia de 20000 m con orientación al noroeste, disminuyó a 61.5 ppm en promedio la concentración de plomo en *Atriplex canescens* fue de 641.5 ppm.

Comparando los valores obtenidos tanto en la raíz de *Cotoneaster* como en la raíz de *Atriplex canescens* se observó que a la distancia de 1000 m la raíz de la última especie presento una concentración mayor de plomo con 1192.75 ppm en relación con la concentración de 861 ppm alcanzada en la raíz de *Cotoneaster* spp a pesar de que la distancia fue mayor en la raíz de *Atriplex canescens*.

Al comparar las concentraciones obtenidas en las muestras, como en el promedio, se observó que están rebasando los límites máximos permisibles de plomo en suelos de los E. U. A., y de los límites máximos permisibles de plomo en la sangre.

CUADRO 3 CONCENTRACION DE PLOMO EN LOS TALLOS DE *Cotoneaster* spp Y *Atriplex canescens* DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑALES, CON UNA ORIENTACION ESTE, NOROESTE, NORTE Y SUROESTE. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.

Muestras	Distancia (m)	Orientación.	Resultados de Pb. (ppm)	Límites máximos permisibles en suelos de EUA. (ppm)	Límites máximos permisibles de plomo en la sangre. (ppm)
Tallos de <i>Cotoneaster</i> spp.					
1	10	Norte	39		
2	50	Suroeste	21		
3	1 000	Suroeste	23.25	500	0.1
4	6650	Este	17		
Promedio			27.75		
Tallos de <i>Atriplex canescens</i>					
1	1000	Suroeste	13.75	500	0.1
2	1500	Suroeste	17.5	500	0.1
3	20000	Noroeste	17.5		
Promedio			15.62		

En el Cuadro 3 en relación a los tallos de *Cotoneaster* spp, se observó que la mayor concentración de plomo fue a los 10 m hacia el norte con 39 ppm valor con poca diferencia a la distancia de 1000 m con orientación al suroeste, se observó que a los 50 m disminuyo a 21 ppm, mientras que la muestra sacada a los 6650 m de distancia con orientación al este disminuyo a 17 ppm. En promedio la concentración de plomo en el tallo de *Cotoneaster* fue de 27.75 ppm.

En el mismo Cuadro analizando el tallo de *Atriplex canescens* se observó que la mayor concentración se encontró a los 1500 m de distancia con orientación al suroeste con 17.5 ppm y disminuyo a los 1000 m por el mismo rumbo con 13.75 ppm. La concentración de plomo a una distancia de 20000 m al noroeste fue de 17.5 ppm, similar a la encontrada a los 1500 m hacia el suroeste. En promedio la concentración de plomo en el tallo de *Atriplex canescens* fue de 15.62 ppm.

Comparando los valores obtenidos tanto en los tallos de *Cotoneaster* spp como en los de *Atriplex canescens*, se observó que a la distancia de 10 m el tallo de la primera especie presenta mayor concentración de plomo con 39 ppm en relación con la concentración de 17.5 ppm alcanzada por el tallo de *Atriplex canescens*. En promedio la concentración de plomo fue mayor en el tallo de *Cotoneaster* spp.

Al comparar las concentraciones obtenidas en las muestras así como en los promedios, se puede ver que estos resultados no rebasan los límites máximos permisibles de plomo en suelos de los E. U. A., pero si rebasan los límites máximos permisibles de plomo en la sangre.

CUADRO 4 CONCENTRACION DE PLOMO EN LAS HOJAS DE *Cotoneaster* spp Y *Atriplex canescens* DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑALES, CON UNA ORIENTACION ESTE, NOROESTE, NORTE Y SUROESTE. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.

Muestras	Distancia (m)	Orientación.	Resultados de Pb. (ppm)	Límites máximos permisibles en suelos de EUA. (ppm)	Límites máximos permisibles de plomo en la sangre. (ppm)
Hojas de <i>Cotoneaster</i> spp.					
1	10	Norte	96		
2	50	Suroeste	49		
3	1 000	Suroeste	26.5	500	0.1
4	6650	Este	19.5		
Promedio			57.16		
Hojas de <i>Atriplex canescens</i>					
1	1000	Suroeste	86.8		
2	1500	Suroeste	33.5	500	0.1
3	20000	Noroeste	25		
Promedio			60.15		

En el Cuadro 4 en relación a las hojas de *Cotoneaster* spp se observó que la mayor concentración de plomo fue a los 10 m de distancia con orientación norte con 96 ppm, valor que disminuyó a la distancia de 50 m con orientación al suroeste. Se observó que a una distancia de 1000 m disminuyó significativamente la concentración de plomo hasta 26.5 ppm, mientras que la muestra sacada a los 6650 m con orientación al este fue de 19.5 ppm. En promedio la concentración de plomo en las hojas de *Cotoneaster* fue de 57.16 ppm.

En el mismo Cuadro al analizar las hojas de *Atriplex canescens* se observó que la mayor concentración de plomo se encontró a los 1000 m al suroeste con 86.8 ppm y bajo considerablemente a los 1500 m por el mismo rumbo con 33.5 ppm, mientras que a la distancia de 20000 m con orientación al noroeste, disminuyó con 25 ppm. En promedio la concentración de plomo en las hojas de *Atriplex canescens* fue de 60.15 ppm.

Comparando los valores obtenidos tanto en las hojas de *Cotoneaster* spp como en las de *Atriplex canescens* se observó que a la distancia de 1000 m las hojas de la última especie presentó la mayor concentración de plomo con 86.8 ppm en relación con la concentración de 26.5 ppm alcanzada por las hojas de *Cotoneaster* spp a la misma distancia. En promedio la concentración de plomo fue mayor en las hojas de *Atriplex canescens*.

Al comparar las concentraciones obtenidas en las muestras, como en el promedio se observó que están dentro de los límites máximos permisibles de plomo en suelos de E. U. A., y que si rebasan los límites máximos permisibles de plomo en la sangre.

CUADRO 5 CONCENTRACION TOTAL DE PLOMO EN SUELO, RAICES, TALLOS Y HOJAS DE *Cotoneaster* spp Y *Atriplex canescens* DE AREA COLINDANTE A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑALES. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.

Especie	Promedio de Pb en el Suelo. (ppm)	Promedio de Pb en las Raíces. (ppm)	Promedio de Pb en los Tallos. (ppm)	Promedio de Pb en las Hojas. (ppm)
<i>Cotoneaster</i> spp.	990.77	462.58	27.75	57.16
<i>Atriplex canescens</i> .	1309.27	641.5	15.62	60.15

En el Cuadro 5 analizando las concentraciones totales de plomo en el suelo, en hojas, tallos y raíces, se observó que la concentración mayor de plomo en el suelo la presentó la especie *Atriplex canescens* con 1309.27 ppm en tanto que la especie *Cotoneaster* spp presenta una menor concentración con 990.77 ppm. En el mismo Cuadro se observó que la concentración mayor de plomo en la raíz la presenta la especie de *Atriplex canescens* con 641.5 ppm y la de menor concentración fue la de *Cotoneaster* spp con 462.58 ppm.

También en ese mismo cuadro, analizando la concentración de plomo en los tallos, se tiene que el *Cotoneaster* spp presenta la concentración mas alta con 27.75 ppm y la especie *Atriplex canescens* presenta menos concentración con 15.62 ppm.

Analizando el cuadro la concentración de plomo en las hojas, se observó que la especie *Atriplex canescens* presenta la concentración mas alta con 60.15 ppm y la menor concentración se presenta en la especie *Cotoneaster* spp con 57.16 ppm.

CUADRO 6 PROMEDIO TOTAL DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO Y EN LAS ESTRUCTURAS DE LAS ESPECIES *Cotoneaster* spp Y *Atriplex canescens* . TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO- JUNIO DE 2006.

Especie vegetal.	Promedio de plomo en suelo (ppm).	Promedio total de Plomo en la especie vegetal (ppm).
<i>Cotoneaster</i> spp.	990.77	547.49
<i>Atriplex</i> <i>Canescens</i> .	1309.27	717.27

En el Cuadro 6 analizando las concentraciones promedio de plomo en el suelo y en la estructura vegetal de cada una de las especies, se observó que la mayor concentración de plomo en el suelo, se presentó en la especie *Atriplex canescens* con un total de 1309.27 ppm, y la especie *Cotoneaster* spp presentó la cantidad de 990.77 ppm.

Analizando el mismo Cuadro se observó que la especie que concentra más el plomo en su estructura vegetal, es la de *Atriplex canescens*, ya que esta presentó la cantidad mayor de plomo con 717.27 ppm y la *Cotoneaster* spp presentó 547.49 ppm, lo cuál se dice que la *Atriplex canescens*, es una especie que puede ser utilizada para remediar sitios contaminados con plomo.

CUADRO 7 REGRESIÓN SIMPLE DE SUELOS, RAICES, TALLOS Y HOJAS DE *Cotoneaster* spp. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO .MARZO-JUNIO DE 2006.

Estructura Vegetal.	Valor de R²
<i>Cotoneaster</i> spp.	
Suelo	0.469
Raiz	0.86
Tallo	0.64
Hoja	0.96

En el Cuadro 7 se mostró el modelo de regresión calculado en *Cotoneaster* spp, se observó que a nivel de hoja se presentó el mayor coeficiente de determinación que fue de .96 lo que permite que dicho modelo pueda ser considerado como muy bueno. El siguiente modelo que presentó un buen nivel de predicción fue el hallado a nivel de raíz con un coeficiente de determinación de 0.86 que es considerado como bueno.

Lo que nos muestra que el modelo utilizado pueda ser considerado como aceptable para este tipo de ecosistemas y que es digno de tomarse en cuenta para saber que tanto influye la concentración de plomo en estas plantas.

V. CONCLUSIONES.

De acuerdo a la metodología empleada y con los resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente:

1. Tanto el *Atriplex canescens* como el *Cotoneaster* spp son especies con buena capacidad fitorremediadora ya que presentaron una concentración de plomo en sus estructuras muy elevada, sin que se haya detectado daño en las plantas.

2. *Atriplex canescens* tiene mayor capacidad de absorción que el *Cotoneaster* spp, por lo cuál se puede decir que se considera como una planta fitorremediadora.

3. La concentración de plomo tanto en suelo como en las especies vegetales rebasan los límites máximos permisibles para suelos con plomo en los E. U. A.

4. La baja concentración de plomo en los tallos de las especies, se debe a que estas son solo estructuras de paso.

5. La mayor concentración de plomo en las raíces se debe a que estas estructuras presentan una mayor área de contacto con el suelo y además presenta estructuras citoplasmáticas que almacenan el plomo.

6. Se ha demostrado que estas especies son eficientes como para fitorremediar, el hecho de que sean poco apetecible por la fauna silvestre tanto para vertebrados como invertebrados esto hace que sean ventajosas en cuanto a otras especies vegetales.

VI. RECOMENDACIONES.

Los datos encontrados de concentración de plomo tanto en suelos como en las plantas, indican que la emisión de plomo al ambiente es excesivo y alarmante, por lo que se recomienda que existan mas investigaciones estudiando el efecto en las plantas y en los seres vivos.

Estudiar la propagación y el establecimiento de otras especies para que se siga determinando el plomo en las estructuras vegetales de las especies.

Se detecta la urgencia de establecer en las leyes correspondiente, normas que indiquen los límites máximos permisibles de plomo en suelos de México.

VII. LITERATURA CITADA.

- Abed, R., N. Safi, J. Köster, D. Beer, Y. El Nahhal, J. Rullkötter y F. García. 2002. "Microbial diversity of a heavily polluted microbial mat and its community changes following degradation of petroleum compounds." *Applied and environmental microbiology*: Vol 5. Pág 1674-1683.
- Abiola, A. y. M. Olenyk. 1997. "Effects of amendment surfactants on bioremediation of hydrocarbon contaminated soil by composting." 34 th. *Annual soil science*. Vol 107. Pág 279-284.
- Al Benin, J. D. S., M. Dalton, S. Roda 1999. "High concentration of heavy metals in neighborhoods near ore smelters in northern Mexico." *Environmental Health Perspectives*. Vol 4. Pág 278- 294.
- Al-daher, R. 1999. "Bioremediation of oil- contaminated soil in Kuwait (part 2): ex site biological treatment technologies. The fifth international in site and on site Bioremediation" (Symposia Siebe et al., 1999. Medical College of Virginia).249-256.
- Alexander, M. 1994. "Biodegradation and bioremediation." Academic press, San Diego.302.
- América, A. L. 2004 (en línea). "Met- Mex Peñoles y los niños de Torreón." <http://www.sertox.com.ar/retel/default.htm> (Consultada el día 05 de julio de 2006).
- Arroyo, E. y. Q., J. 2002 (en línea). "Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos." Geocisa. División de Protección ambiental de suelos. <http://www.geocisa.com>. (Consultada el 15 de mayo de 2006).

- Calderón, G. y J. Rzedowski. 2001. "Flora fanerogámica del valle de México." CONABIO. Inst. de Ecología, Méx. D. F. 239p.
- Ceto, N. 2002. "Intervención ambiental en sitios contaminados por plomo: la experiencia en los EUA." Universidad de Vermont. Seattle, Washington, U. S. A .9-12pp.
- Cortinas de N. y G. C. Mosler. 2002. "Gestión de residuos peligrosos". Universidad Autónoma de México. México.
- Crawford, J., S. Traina y O. Touvinen. 2000. "Bacterial degradation of atrazine in redox potential gradients in fixed-film sand columns." Soil Science Society of America journal. Vol 64. Pág 624-634.
- Doull J., K. C. D. y A. M. O. 1996. "Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons." McMillan Publishing Co. Vol 5. Pág 18-22.
- Dushenkov, S. 2003. "Trends in phytoremediation of radionucleides." Plant and soil. Vol 16. Pág 167-175.
- EPA 2000(en línea). "Introduction to phytoremediation. National Risk management research laboratory." <http://www.aehs.com/journals/phytoremediation> (Consultada el día 25 de septiembre de 2006).
- EPA 2001 (en línea). "United States Office of Solid Waste and EPA 542-F-01-002S." Environmental Protection Emergency Response. www.epa.gov/superfund/sites.cluin.org. (Consultada el día 08 de agosto de 2006).

- EPA 2002 (en línea). "United States Office of Solid Waste EPA 542-F-01-002S."
www.epa.gov/superfund/sites.cluin.org. (Consultada el día 04 de agosto de 2006).
- EPA 2006 (en línea). "CONTAMINACIÓN POR PLOMO EN SUELO."
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/447/cap4.pdf>.
(Consultada el día 13 de septiembre de 2006).
- Ernst, W. H. O. 1996. "Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants." *Appl. Geochem.* Vol 8 (2). Pág 239-256.
- Galli, C. 2002. "Degradación por medios bacterianos de compuestos químicos tóxicos." Comisión Técnica Asesora en: Ambiente y desarrollo sostenible, Buenos Aires, Argentina.
- García, S. 2002(en línea)."Salud infantil y plomo." *Salud publica en México.*
<http://www.salud.pública.en.Méx.org.com.mx> (Consultada el día 03 junio de 2006).
- Goering, P. L. 2003. "Protein interactions as a basic for lead toxicity." *Neurotoxicologi.* Vol 14. Pág 46-60.
- Harvey P., C. B., P. Castro, H. Harms, E. Lichtfouse y S. Smrcek. 2002. "Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenoles." *Environ. Sci. Polutt.* Vol 9. Pág 27-47.
- Holmes S. E., E. D. J., Gregory J. Buffone y Teresa Duryea Rice. 1997. "Blood lead leves in a continuity Clinic population." *Clinic toxicology.* Vol 2. Pág 181-186.

INE 2006 (en línea). "Normatividad existente para contaminación de suelos."
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/447/cap6.html>
(Consultada el día 13 de Noviembre de 2006).

INEEL. 2002. "Proceedings from the workshop on phytoremediation of inorganic contaminants." November 20- December 2, 1999, Argonne National Laboratory, Chicago. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, U. S. Department of Energy.
<http://www.envnet.org/scfa/conferences/phyto200.pdf>. (Consultada el día 15 de Julio de 2006).

ITRC 1999.(en línea). "Phytoremediation decision tree. The interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group, phytoremediation work team." [Http://www.cluin.org/search](http://www.cluin.org/search) y [http:// www. itrcweb. org](http://www.itrcweb.org).
(Consultada el día 05 de julio de 2006).

Kanossa, D., C. Langebartels, y H. Sandermann, Jr. 1999. "Metabolic Processes for Organic Chemicals in Plants." Lewis Publishers, Boca Raton, FL. U. S. A.

La Caxia fundación 1995. Reutilización de residuos urbanos en agricultura. Editorial Aedos.

Lai. K., S., M. y J. Lester. 2002. "Biotransformation and bioconcentration of steroid estrogens by *Chlorella vulgaris*." Applied and environmental Microbiology Vol 68. Pág 859-864.

Landrigan PJ, CF. Bearer, JS. Cranmer y RD Bullard. 2001. "Children's health and the environment: A new agenda for prevention research." Environ Health Perspect. Vol 3. Pág 787-794.

- Lobo, M. d. C. D. 2005 (en línea). "Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria.://www.medioambiente.info/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid (Consultada el día 13 de julio de 2006).
- López, P. F. 1999. "Ordenan a peñoles reducir sus operaciones a la mitad." La jornada 22/05/99.
- Lumellí, M. 2006. "Medio Ambiente. Fitorremediación: Otro regalo del reino vegetal." <http://www.estroplan.com.mx/articulos/verarticulo.asp?> (Consultada el día 19 de julio de 2006).
- Marivela, C., C. Guerrero, L., López, V. Sánchez y A. Toledo. 2002. "Metales pesados y medio ambiente." Grupo de seminario 1-26, Barcelona, España.
- Markovac J, G. G. 2000. "Lead activates protein kinase C in immature rat brain microvessels." *Toxicology Applied Pharmacology*. Vol 26. Pág 14-23.
- Matte, T. D. 2002 (en línea). "Efectos del plomo en la salud de la niñez." *Salud pública en México*. 45 supl 2:S220-S224. <http://www.insp.mx/salud/index.html> (Consultada el día 28 de septiembre de 2006).
- Patterson C, E. J., M. Manea-Krichten, H. Shirahata. 2001. "Natural skeletal levels of lead in Homo sapiens un contaminated by technological lead." *Sci Total Environ*. Vol 107. Pág 205-236.
- Pivetz, B. E. 2001. "Ground water issue. United States." Environmental Protection Agency. U. S. A.

Planets. 2006 (en línea). "Suelos contaminados con metales pesados".
<http://www.planets-voice.org/news.shtml?>(Consultada el día 04 de agosto de 2006).

PROFEPA 1999 (En línea). "Restauración de suelos contaminados."Grupo de trabajosobrere restauración.<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/422/restauración.html> (Consultada el 25 de marzo de 2006).

Reiser, R. 1998. "The Use of Phytoremediation in the Cleanup Polluted Soils and Waters." International Phytoremediation Conference. May 8-10 1998.

Saval, S. 1998. "Biorremediación de suelos y acuíferos. Situación actual y perspectivas en México." Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. Vol 3.

Sellers, K., T.A. Pedersen, y C. Fan. 1999. "Review of soil mound technologies of the bioremediation of hydrocarbon contaminate soil." Vol 3. Pág 41-53.

SEMARNAT 2006 (en línea). "Especies Forestales No Maderables y Maderables No Tradicionales de Zonas Áridas y Semiáridas."
http://www.semarnat.gob.mx/pfnm3/fichas/atriplex_canescens.htm
(Consultada el 13 de noviembre de 2006).

Semple, K. T., B. J. Reid y T. R. Fermor 2001. "Impact of compositing strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants." Environ pollution. Vol 39. Pág 26-31.

Siebe Christina, C. H. R., y G. Toledo. 1999. "Conservación y restauración de suelo."Editorial UNAM, México D. F.

- Valdés F. y Cabrera V. 1999. "En Defensa del Ambiente, A.C.Torreón, Coahuila."Primera edición.
- Van Deuren, J., Z. Wang, y J. Ledbetter 1997. "Remediation technologies screening matrix and reference Guide." Technology innovation office. 3. [Http://www.epa.gov/tio/remed.htm](http://www.epa.gov/tio/remed.htm) (Consultada el 12 de agosto del 2006).
- Wangeesteen, O. 2002. "Plantas que lo chupan todo." ciencia digital: 5-10. redaccion@cienciadigital.net (Consultado el 24 de octubre de 2006).
- Wikipedia 2002 (en línea). "Plomo." Medio Ambiente - Impactos Ambientales \ Medio Ambiente- Gestión. <http://es.Wikipedia.org/wiki/plomo> (Consultada el día 10 de junio de 2006).