

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DEL PLOMO POR (*Bougainvillea spectabilis*)
ALEDAÑA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑALES, TORREÓN, COAHUILA
MÉXICO**

POR

ELIAS LOPEZ MONTIEL

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2006.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DEL PLOMO POR (*Bougainvillea spectabilis*)
ALEDAÑA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑALES, TORREÓN, COAHUILA
MÉXICO

POR
ELIAS LOPEZ MONTIEL

TESIS
ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS.
ASESOR PRINCIPAL



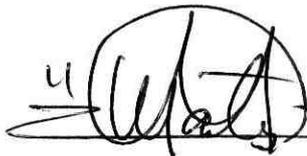
M.C. HUGO AGUILAR MÁRQUEZ.
ASESOR



ING. RUBI MUÑOZ SOTO.
ASESOR



I.I.Q. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO.
ASESOR



M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DEL PLOMO POR (*Bougainvillea spectabilis*)
ALEDAÑA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑALES, TORREÓN, COAHUILA
MÉXICO**

**POR
ELIAS LOPEZ MONTIEL**

**TESIS
ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:



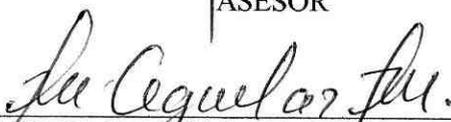
**DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS.
ASESOR PRINCIPAL**



**M.C. HUGO AGUILAR MÁRQUEZ.
ASESOR**



**ING. RUBI MUÑOZ SOTO.
ASESOR**



**L.I.Q. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO.
ASESOR**



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

**M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

DEDICATORIAS

A DIOS:

Por darme la vida y cuidarme siempre, por estar conmigo en los momentos más difíciles y por darme la sabiduría necesaria para poder culminar mis estudios. Gracias por la vida de mis padres y mis hermanos.

A MIS PADRES:

Tito López Hernández y Tamar Montiel Leyva gracias por brindarme la oportunidad de haber realizado unas de mis metas más importantes de mi vida, que es haber terminado una profesión, este trabajo es producto de su esfuerzo y apoyo incondicional. Los amo.

A MIS HERMANOS:

Anita, Raúl y Leticia, gracias por hacerme sentir un ser privilegiado al contar con su amor y su valiosísimo apoyo moral e incondicional, por ustedes y para ustedes. Los quiero mucho.

A MI TÍO:

Roberto Carrillo Torres, gracias tío por tus consejos y apoyo incondicional, te quiero mucho.

A MI AMIGO EN ESPECIAL:

Josué Cruz Hernández, gracias por tu verdadero y valioso apoyo, por demostrarme el verdadero valor de la amistad. Mil gracias.

A MIS AMIGOS:

Marcos, Martín, Alejandro, Humberto, Jesús y Gabriel, gracias por su cariño y apoyo que siempre recibí de ustedes. Saben que cuentan conmigo.

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA MATER:

Gracias por darme la oportunidad de pertenecer y por la estancia tan satisfactoria durante la realización de mi carrera profesional.

A MIS MAESTROS:

Mil gracias por haber contribuido en el proceso de mi formación profesional.

AL DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS asesor principal de esta tesis, gracias por su apoyo incondicional, sus consejos así como su paciencia y tiempo que ocupo en la culminación de esta trabajo.

M.C. HUGO AGUILAR MÁRQUEZ gracias por su apoyo en la realización de este trabajo, sus consejos, y buena voluntad.

ING. RUBÍ MUÑOZ SOTO mil gracias por su tolerancia, su buena voluntad para mi persona y por contribuir en la culminación de este trabajo.

LI.Q. ELBA MARGARITA MEDRANO mil gracias por su valiosísimo apoyo, disposición y por su paciencia para la terminación de este trabajo.

M.C. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLES gracias por sus consejos, apoyo y por haber contribuido en mi formación profesional desde el inicio de mi estancia en la universidad hasta el día de hoy. Mil gracias.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	1
RESUMEN	2
I. INTRODUCCIÓN	3
1.1. OBJETIVOS	5
1.1.1. Objetivo general.....	5
1.1.2. Objetivo específico.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Problemática ambiental.....	7
2.2. El plomo.....	8
2.2.1. Efectos del plomo a la salud.....	9
2.2.2. Efectos del plomo en la vegetación.....	10
2.2.3. Normatividad del plomo.....	11
2.3. Destino del plomo en el ambiente.....	11
2.3.1. Estrategias para mitigar la exposición al plomo.....	12
2.3.2. Se consideran las siguientes estrategias.....	12
2.4. Remediación.....	13
2.4.1. Clasificación de las técnicas de remediación.....	14
2.5. Biorremediación.....	14
2.5.1. Tipos de tecnologías.....	15
2.5.1.1. Acciones de biorremediación.....	15
2.5.1.2. Tecnologías de remediación <i>in situ</i>	16
2.5.1.3. Ventajas <i>in situ</i>	17
2.5.1.4. Desventajas <i>in situ</i>	17
2.5.2 Bioventeo.....	17
2.5.2.1. Bioestimulación.....	18
2.5.2.2. Bioaumentación.....	18
2.5.2.3. Biolabranza.....	19
2.5.2.4. Biorremediación <i>ex situ</i>	19
2.5.3. Biorremediación en fase sólida (composteo).....	19
2.5.3.1. Ventajas <i>ex situ</i>	20
2.5.3.2. Desventajas <i>ex situ</i>	20
2.5.3.3. Biorremediación en fase de lodos (biorreactores).....	20
2.6. Importancia de la biorremediación ambiental.....	21
2.7. Fitorremediación.....	21
2.7.1. Degradación.....	23
2.7.2. Acumulación.....	24

2.7.3. Disipación.....	24
2.7.4. Procesos de entrada de metales pesados en la planta.....	24
2.7.5. Interacción de microorganismos y hongos con la fitorremediación.....	25
2.7.6. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.....	26
2.7.7. Límites de la fitorremediación.....	26
2.7.8. Sistemas de la raíz.....	27
2.7.9. Tasa de crecimiento.....	27
2.8. Descripción de la especie fitorremediadora.....	28
2.8.1 La buganvillea.....	28
III. MATERIALES Y METODOS.....	29
3.1. Ubicación geográfica.....	29
3.1.1. Muestreo de suelo.....	29
3.1.2. Muestreo en <i>Bouganvillea spectabilis</i>	30
3.2. Análisis del laboratorio.....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	31
4.1. Plomo en el suelo.....	31
4.2.1. Concentración de plomo en la <i>Bouganvillea spectabilis</i> a nivel raíz.....	33
4.2.2. Concentración de plomo en la <i>Bouganvillea spectabilis</i> a nivel tallo.....	33
4.2.3. Concentración de plomo en la <i>Bouganvillea spectabilis</i> a nivel hoja.....	34
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
VI. LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Pág.
1	CONCENTRACION DE PLOMO (Pb) EN SUELO DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES, CON UNA ORIENTACION SURESTE, SUROESTE Y NORESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.....	32
2	CONCENTRACIÓN DE PLOMO (Pb) EN LA RAÍZ DE LA <i>Bougavillea spectabilis</i> , DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES CON UNA ORIENTACION SURESTE, SUROESTE Y NORESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.....	35
3	CONCENTRACIÓN DE PLOMO (Pb) EN EL TALLO DE LA <i>Bougavillea spectabilis</i> , DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES, CON UNA ORIENTACION SURESTE, SUROESTE Y NORESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.....	36
4	CONCENTRACIÓN DE PLOMO (Pb) EN LA HOJA DE LA <i>Bougavillea spectabilis</i> , DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PEÑOLES, CON UNA ORIENTACION SURESTE, SUROESTE Y NORESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.....	37
5	CONCENTRACION DE PLOMO PROMEDIO, MAXIMA, MINIMA Y TOTAL. OBTENIDAS EN EL SUELO Y EN LA <i>Bougavillea spectabilis</i> , UBICADAS EN ZONAS ALEDANAS A MET-MEX PEÑOLES. TORREON COAHUILA. MARZO DE 2006.....	38

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar si la planta de la *Bougainvillea spectabilis* tiene la capacidad de retener el plomo a nivel de raíz, tallo y hoja. Y determinar la concentración de plomo en el suelo. El trabajo de campo se realizó en zona aledaña y lejana a la industria Met-Mex Peñoles ubicada en Torreón Coahuila. Las razones por las cuales se muestreo el área lejana fue saber si existe plomo tanto en suelos como en las plantas. Los análisis de la planta y el suelo se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. La concentración máxima del plomo en el suelo a una profundidad de 0-5 cm fue de 2780 ppm a 30 m de distancia con orientación sureste, la mínima concentración de plomo en el suelo fue de 680 ppm a una distancia de 15 00 m de la industria Met-Mex Peñoles con orientación suroeste. La muestra que se tomo al noreste de Met-Mex Peñoles a aproximadamente 15, 000 m de distancia tiene 64 ppm de promedio de plomo en los suelos y en total 39 ppm en las plantas. La *Bougainvillea spectabilis* efectivamente retiene grandes cantidades de plomo en sus raíces, tallos y hojas, hasta el 18 % con respecto al total que hay en el suelo y las plantas, por lo tanto se puede considerar como una planta con capacidad de retener el plomo y con resistencia y tolerancia para crecer en suelos contaminados con metales como el plomo. Se recomienda apoyar a la fitorremediación ya que es una de las técnicas que tiene como objetivo de retener, asimilar y metabolizar metales pesados en el suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos. Las fuentes de contaminación por plomo son múltiples e incluyen a las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura y las gasolinas con tetraetilo de plomo.

El plomo presente en el suelo proviene principalmente de fuentes minerales; el plomo tiende a acumularse en los suelos en donde permanece inmóvil durante largo tiempo. Las estimaciones de las contribuciones antropogénicas a la contaminación por plomo del suelo a nivel mundial equivalen a un total de 479 mil y 1.113 millones de toneladas anuales, como resultado de actividades industriales, urbanas y agrícolas. Destacan como fuentes importantes de plomo el depósito de las partículas suspendidas en el aire, la disposición de productos comerciales, cenizas de las plantas carboeléctricas, y los desechos urbanos. A ello se suma la contribución de la minería y de las empresas fundidoras de minerales conteniendo plomo.

Cada vez se considera que el problema de la contaminación del suelo debe de atenderse de manera inmediata, desafortunadamente los costos para remover los contaminantes por métodos fisicoquímicos, han hecho que los industriales ignoren dicho problema.

El plomo es un veneno fuerte que puede afectar casi todos los sistemas del cuerpo. Demasiado plomo en el cuerpo puede dañar el cerebro y el sistema nervioso, la sangre, el sistema digestivo, y el sistema reproductivo. En las mujeres embarazadas, el plomo puede causar daño grave al niño por nacer, debido a que el cuerpo almacena plomo por la vida entera y lo suelta lentamente, hasta la dosis más pequeña, con el tiempo, puede causar envenamiento de plomo.

Los niveles de plomo en plantas son tanto más altos cuanto más cerca esté el foco emisor de plomo de su hábitat. Las plantas pueden hacer acopio superficial de plomo debido a la deposición atmosférica, mientras que sus tejidos internos pueden contener plomo como resultado de absorción biológica del suelo y la superficie de las hojas.

La biorremediación es una alternativa biológica para el tratamiento de suelos contaminados, e involucra el uso de microorganismos para remover contaminantes orgánicos presentes en el suelo.

La fitorremediación se refiere al uso de las plantas con capacidad para remover los contaminantes y con resistencia para crecer en suelos contaminados con hidrocarburos. Estas plantas son capaces de fitodegradar compuestos orgánicos y estimular a poblaciones de microorganismos en los sistemas rizosféricos. Existe un gran número de este tipo de plantas y agrupan especialmente una buena cantidad de pastos.

1.1. OBJETIVOS.

1.1.1. Objetivo general.

Determinar la capacidad de retención del plomo en la planta de *Bougainvillea spectabilis* ubicadas en zonas aledañas a la industria Met.-Mex Peñoles de la ciudad de Torreón Coahuila México.

1.1.2. Objetivo específico.

Determinar si la planta de la *Bougainvillea spectabilis* tiene la capacidad de retener el plomo a nivel de raíz, tallo y hoja. Y determinar la concentración de plomo en el suelo.

II. REVISION DE LITERATURA

Met-Mex peñoles es la fundidora y refinadora de plomo en México, es la procesadora de plomo más grande en América Latina y la cuarta del mundo por su volumen de producción; también es la productora de plata más importante del mundo. Se estableció en 1901 en Torreón, en la región conocida como Comarca Lagunera. La primera queja documentada oficialmente contra Peñoles data de 1937 desde entonces han sido recurrentes las quejas de la comunidad sobre las molestias que se atribuyen a las actividades de esta empresa, en especial, irritación de ojos y garganta y olores desagradables; sin embargo, hasta el momento, las acciones correctivas por parte de la empresa han sido lentas, renuentes y definitivamente insuficientes (América, 2004).

El problema ocasionado por peñoles en la ciudad de Torreón principalmente es provocado por la emisión de plomo, cadmio y 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. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa. El envenenamiento por metales pesados se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la ciudad de Torreón (Valdez y Cabrera, 1999).

Los estudios de plomo en la sangre de los niños expuestos se han llevado a cabo desde febrero de 1999 por la Secretaría de Salud y Desarrollo Comunitario del Estado de Coahuila. Desde los primeros resultados, a principios de marzo de 1999, hasta la fecha, en que se han analizado casi 5000 muestras, dos datos se han mantenido constantes: aproximadamente el 90 % de los niños muestran niveles inaceptables de plomo en su sangre más de 0.1ppm y aproximadamente el 50 % de los niños muestran niveles que ameritan intervención clínica y reubicación inmediata más de 0.25 ppm. Varias docenas de niños han debido ser internados en diversos hospitales por tener niveles sumamente altos de plomo más de 0.70 ppm. En algunos casos se han encontrado niños y niñas con concentraciones de plomo en sangre de 90 y hasta de más de 1 ppm. Una vez que el nivel del plomo es reducido mediante un tratamiento que puede incluir el uso de agentes quelantes, estos niños y sus familias deben ser reubicados para que no vuelvan al ambiente que los envenenó de manera tan severa (América, 2004).

2.1. Problemática ambiental

Las actividades mineras en México tienen más de 450 años y han causado un impacto muy fuerte en el suelo, tanto en las zonas de explotación como en donde se depositan los residuos; el más notable es el enterramiento de grandes áreas de suelo y vegetación. La contaminación del suelo es un problema que ha atraído importantemente la atención de los diferentes grupos de investigación en el mundo, debido al incremento de la contaminación en grandes extensiones de suelos y que ahora resultan peligrosos para el humano y la vida silvestre. Cada vez se considera que el problema de la contaminación del suelo debe de atenderse de manera inmediata, desafortunadamente los

costos para remover los contaminantes por métodos fisicoquímicos, han hecho que los industriales ignoren dicho problema (Universidad Autónoma de Zacatecas, 2005).

El plomo es uno de los metales pesados más ampliamente distribuidos en toda la superficie de la tierra y, por consecuencia, el riesgo de exposición de la población en general es muy variado. La forma química del plomo es un factor importante que afecta su comportamiento biológico en el cuerpo humano: los compuestos del plomo orgánico son absorbidos rápidamente a través de la piel o las membranas mucosas y los compuestos de plomo inorgánico son absorbidos primariamente a través del tracto gastrointestinal y respiratorio (INE, 2005).

2.2. El plomo

El plomo es un metal natural gris azulado que se forma en la corteza terrestre. Su símbolo químico es Pb. Su número atómico es 82, y su peso atómico (molecular) 207.20. Tiene una presión a vapor de 1.77 mm Hg a 1000 °C, 10 mm Hg a 1162 °C, 100 mm Hg a 1421°C, y 400 mm Hg a 1630 °C. Del grupo 14, tiene su punto de fusión a 327.4 °C y el de ebullición a 1740 °C. Su peso específico es 11.3 (Expediente de trabajo, 1998).

El plomo es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que ocurre 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. Cierta porción del plomo que entra al cuerpo proviene de respirar polvo o sustancias químicas que

contienen plomo. Una vez que el plomo entra a los pulmones, es distribuido rápidamente a otras partes del cuerpo por la sangre (ATSDR, 2005).

2.2.1. Efectos del plomo a la salud

El plomo es muy tóxico para los seres vivos. Afecta a los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal, además de afectar la piel y los riñones. No es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua, en los hogares y en los expuestos a él. La exposición al plomo, aun a niveles bajos, afecta a niños y a adultos. En cantidades muy pequeñas, interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos, causa convulsiones, colapso e incluso la muerte. La exposición a cantidades muy pequeñas puede causar a largo plazo daños medibles e irreversibles en niños aun cuando éstos no muestren síntomas particulares. En los adultos, un nivel bajo de plomo causa incrementos pequeños, pero significativos, en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto. La hipertensión causada por la exposición al plomo contribuye a la muerte de miles de personas cada año. También afecta la fertilidad (Valdez, 2001).

La intoxicación por plomo en adultos ocurre cuando hay dolor abdominal, anemia o neuropatía (debilidad particularmente en las muñecas) y sucede por la presencia de niveles de plomo elevados en la sangre. En lo que respecta a los niños, la intoxicación por plomo ocurre cuando el plomo, un metal tóxico, alcanza un nivel de 0.1 ppm. Niveles de 0.20 ppm más, representan un envenenamiento real por plomo (Smoost, 2006).

Los síntomas para el envenenamiento por metales pesados varían, dependiendo del tipo de exposición que haya tenido. Fatiga o palidez (por anemia) Irritabilidad, dolor de cabeza, debilidad muscular, problemas para caminar, mala pronunciación, convulsiones o coma, pérdida de apetito, náusea, vómito, dolor abdominal, dolor articular o artritis gotosa, presión arterial, alta enfermedad renal o insuficiencia, daño de las habilidades mentales, motoras y del lenguaje, daño en el equilibrio, falta de comportamiento, desempeño escolar, memoria y concentración, y retardo mental en los niños (Badash, 2006).

Los efectos de plomo en el cuerpo son los mismos para toda clase de exposiciones. Demasiado plomo en el cuerpo puede dañar el cerebro y el sistema nervioso, la sangre, el sistema digestivo, y el sistema reproductivo (Comisión de calidad ambiental de Texas, 2004).

La eliminación se produce sobre todo por orina y heces. La eliminación urinaria normal es de 10 ppm/24h. No está claro qué proporción del plomo detectado en las heces corresponde a la parte no absorbida (Ferrer, 2003).

2.2.2. 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).

Hay estructuras internas de las plantas consideradas como fitorremediadoras, que se han adaptado a la presencia de contaminantes en el suelo, como son los cloroplastos, vacuolas o mitocondrias. Hay características sobre todo externas, que ciertas plantas han desarrollado, cuya función principal, por la cual evolucionaron así, fue el defenderse de las inclemencias del tiempo, como temperaturas extremas, en corto periodo de tiempo, corrientes de vientos o a la escasa presencia de lluvia (Foroughbakhch *et al.*, 2004).

2.2.3. Normatividad del plomo en suelo

El nivel máximo en los Estados Unidos para considerar que un sitio esta contaminado es de 500 ppm (Valdez y Cabrera, 1999).

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

La normatividad señalada por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), para suelos de uso residencial y agrícola es de 400 ppm (Universidad Autónoma de Zacatecas, 2005).

2.3. Destino del plomo en el ambiente

El plomo no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz solar, el aire y el agua. Cuando se libera plomo al aire, puede movilizarse largas distancias antes de depositarse en el suelo. Una vez que cae al suelo, generalmente se adhiere a partículas del suelo. La movilización del plomo desde el suelo al agua

subterránea dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo (ATSDR, 2005)

2.3.1. Estrategias para mitigar la exposición al plomo

Resulta necesario desarrollar estrategias para mitigar la exposición, que permitan identificar y conocer las vías de exposición específicas de cada sitio. Si bien el desarrollo detallado de estrategias es particular a cada sitio, existen diversas estrategias de orden general comunes a los programas de intervención ambiental en los sitios de contaminación por plomo.

2.3.2. Se consideran las siguientes estrategias

1. Control de la fuente activa de emisión de plomo en la atmósfera, incluyendo tanto las fuentes fijas, como el polvo que se volatiliza.
2. Poner en marcha programas de educación e intervención en salud en un intento por limitar la exposición a plomo mientras queda bien afianzado el control de las fuentes de contaminación; es esencial la participación de los funcionarios de salud de la localidad, así como de la comunidad misma
3. Concentrar los esfuerzos de control temprano de las fuentes en aquellas áreas donde se encuentren grandes cantidades de niños de corta edad potencialmente expuestos.

4. Las estrategias para remediar la condición de los suelos pueden incluir la eliminación y el reemplazo de aquellos contaminados, o bien repararlos, recubrirlos con una capa de vegetación o restringir su acceso.
5. Los controles ejercidos por medio de las instituciones pueden ser una parte integral de una estrategia general para manejar, a largo plazo, los suelos contaminados que se conserven *in situ*, como parte de un programa de limpieza basado (Ceto, 2006).
6. La estrategia aquí desarrollada implica la acción fitorremediadora del plomo por parte de la *Bougainvillea spectabilis*.

2.4. Remediación

El término remediación se ha venido utilizando para referirse a todas aquellas actividades de limpieza de sitios contaminados (Saval, 1997).

El término remediación, no está definido en México en algún documento oficial, actualmente es utilizado para satisfacer a todas aquellas acciones aplicadas a suelos y acuíferos que conduzcan a la reducción de niveles de contaminación (Cortinas y Mosler, 2002).

2.4.1. Clasificación de las técnicas de remediación

Las técnicas de tratamiento *in situ* son las que se aplican sin necesidad de trasladar el suelo o el agua subterránea afectados por el problema.

De carácter biológico son dos: biorremediación y fitorremediación.

Físico-químicos incluyen las siguientes: Solidificación, estabilización, Extracción con vapor y aireación del suelo, Tratamientos térmicos, Oxidación química.

Los tratamientos térmicos son un grupo de técnicas que se basan en la extracción de contaminantes a través de su movilización a altas temperaturas (MAM, 2006).

2.5. Biorremediación

La biorremediación es el proceso utilizado por el hombre para detoxificar variados contaminantes en los diferentes ambientes –mares, estuarios, lagos, ríos y suelos– usando de forma estratégica microorganismos, plantas o enzimas de estos. Esta técnica es utilizada para disminuir la contaminación por los hidrocarburos de petróleo y sus derivados, metales pesados e insecticidas; además se usa para el tratamiento de aguas domésticas e industriales, aguas procesadas y de consumo humano, aire y gases de desecho. Afortunadamente la biotecnología ha permitido el desarrollo de diversas estrategias que pueden ser utilizadas con el fin de restaurar el suelo y la calidad ambiental, de acuerdo con las necesidades y dimensiones del problema a solucionar (Vargas *et al.*, 2004).

El término biorremediación se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos

tóxicos. Esta estrategia biológica depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por consiguiente de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía (Van Deuren *et al.* 1997).

La biorremediación es una alternativa biológica para el tratamiento de suelos contaminados, e involucra el uso de microorganismos para remover contaminantes orgánicos presentes en el suelo (Pérez *et al.*, 2002).

2.5.1. Tipos de tecnologías

En general, se distinguen dos tipos de tecnología:

-In situ. Son las aplicaciones en las que el suelo contaminado es tratado, o bien, los contaminantes son removidos del suelo contaminado, sin necesidad de excavar el sitio. Es decir, se realizan en el mismo sitio en donde se encuentra la contaminación.

-Ex situ. La realización de este tipo de tecnologías, requiere de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio (on site) o fuera de él (off site). (INE, 2005).

2.5.1.1. Acciones de biorremediación

Las acciones que se llevan a cabo para enfrentar la problemática que representa un sitio contaminado son:

1. *Identificación del sitio.* Se debe identificar el sitio como potencialmente contaminado, es decir que se sospecha que representa un riesgo al ambiente, los elementos naturales o la salud humana.

2. *Caracterización del sitio.* Se debe realizar una determinación de las características del lugar, los contaminantes presentes.
3. *Análisis y selección de las alternativas de remediación.* Se determinan cuáles son las alternativas de remediación (que puede emplear una o varias tecnologías de remediación).
4. *Diseño, implementación y operación de la remediación.* Una vez que se ha seleccionado la alternativa de remediación, se debe diseñar, implementar y operar.
5. *Monitoreo.* Son las actividades llevadas a cabo para confirmar que se han alcanzado los objetivos de la remediación y el sitio no representa riesgos al ambiente o a la salud humana.
6. *Valorización (uso o reuso con restricciones) y/o clausura.* Una vez que se ha remediado el sitio, este puede revalorizarse para su aprovechamiento continuando con el uso que tenía, con un nuevo uso o un uso con restricciones dependiendo de los resultados obtenidos (INE, 2005).

2.5.1.2. Tecnologías de remediación *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 u oxígeno (bioventeo), nutrientes (bioestimulación), microorganismos (bioaumentación) y/o humedad, además del control de temperatura y pH (EPA, 2001).

2.5.1.3. Ventajas *In situ*

- Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar.
- Potencial disminución en costos.
- No tiene impacto destructivo en la fertilidad de los suelos.

2.5.1.4. Desventajas *in situ*

- Mayores tiempos de tratamiento.
- Dificultad para verificar la eficacia del proceso (Manacorda y Cuadros, 2005).

2.5.2. Bioventeo

El bioventeo es una tecnología relativamente nueva, cuyo objetivo es estimular la biodegradación natural de cualquier compuesto biodegradable en condiciones aerobias. El aire se suministra en el sitio contaminado a través de pozos de extracción, por movimiento forzado (extracción o inyección), con bajas velocidades de flujo, con el fin de proveer solamente el oxígeno necesario para sostener la actividad de los microorganismos degradadores. Se utiliza para tratar compuestos orgánicos biodegradables semivolátiles (COSs) o no volátiles. Además de favorecer la degradación de contaminantes adsorbidos, pueden degradarse compuestos orgánicos volátiles (COVs), por medio de su movimiento a través del suelo biológicamente activo (Eweis y col., 1998). Se ha utilizado con éxito para remediar suelos contaminados con HTPs, solventes no clorados, pesticidas y conservadores de la madera, entre algunos otros químicos (Van Deuren *et al.*, 1997).

2.5.2.1. Bioestimulación

La bioestimulación implica la circulación de soluciones acuosas (que contengan nutrientes y/u oxígeno) a través del suelo contaminado, para estimular la actividad de los microorganismos autóctonos, y mejorar así la biodegradación de contaminantes orgánicos o bien, la inmovilización de contaminantes inorgánicos *in situ* (Van Deuren *et al.*, 1997).

Se ha usado con éxito para remediar suelos contaminados con gasolinas, COVs, COSs, y pesticidas (Alexander, 1994).

2.5.2.2. Bioaumentación

Esta tecnología se utiliza 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 en cuestión, para promover su biodegradación o su biotransformación. El tamaño del inóculo a utilizar, depende del tamaño de la zona contaminada, de la dispersión de los contaminantes y de la velocidad de crecimiento de los microorganismos degradadores (Saval, 1998).

Se ha usado para tratar suelos contaminados con herbicidas, insecticidas, clorofenoles y nitrofenoles. También se ha aplicado efectivamente para tratar desechos con concentraciones relativamente altas de metales (Alexander, 1994).

2.5.2.3. Biolabranza

Durante el proceso de biolabranza, 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, y se remueve periódicamente para favorecer su aireación. Las condiciones del suelo (pH, temperatura, aireación) se controlan para optimizar la velocidad de degradación y generalmente se incorporan cubiertas u otros métodos para el control de lixiviados. La diferencia entra le biolabranza y el composteo, es que en la biolabranza, se mezcla el suelo contaminado con suelo limpio, mientras que el composteo generalmente se realiza sobre el suelo (Van Deuren *et al.*, 1997).

Los contaminantes tratados con éxito por biolabranza, incluyen diesel, gasolinas, lodos aceitosos, creosota y coque, además de algunos pesticidas. Es una tecnología de gran escala, que se practica en los Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Holanda, Suiza, Dinamarca, Francia y Nueva Zelanda (Saval, 1998).

2.5.2.4. Biorremediación *ex situ*

2.5.3. 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).

2.5.3.1. Ventajas *ex situ*

- Menor tiempo de tratamiento.
- Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente.

2.5.3.2. Desventajas *ex situ*

- Necesidad de excavar el suelo.
- Aumento en costos e ingeniería para equipos.
- Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante

El beneficio de esta tecnología es que requiere menos equipamiento y trabajo que otros métodos ya que las plantas hacen la mayor parte de la tarea (Manacorda y Cuadros, 2005).

2.5.3.3. 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 (Saval, 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 (Alexander, 1994).

2.6. Importancia de la biorremediación ambiental

La biorremediación, como una tecnología, tiene un gran potencial en la recuperación de sitios contaminados por hidrocarburos y metales pesados y generalmente es más barata que otras alternativas de restauración (Randy *et al.*, 1999).

En México todavía se desconoce el tamaño real del problema. Se cuenta con una cifra muy alta de sitios en donde se requiere efectuar acciones de remediación. Lo que más complica la problemática de aquellos sitios contaminados por hidrocarburos y metales pesados, es que hasta hace pocos años, prácticamente no existía una conciencia del grado de dificultad y del enorme costo que la remediación de los suelos contaminados representan para la sociedad (Schmidt, 2006).

2.7. Fitorremediación

La fitorremediación se refiere al uso de las plantas con capacidad para remover los contaminantes y con resistencia para crecer en suelos contaminados con compuestos orgánicos e inorgánicos y metales pesados. Estas plantas son capaces de fitodegradar y estimular a poblaciones de microorganismos en los sistemas rizosféricos. Existe un gran número de este tipo de plantas y agrupan especialmente una buena cantidad de pastos (Pérez *et al.*, 2002).

La fitorremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados. Aunque se encuentra en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos (El cuaderno de por que biotecnología, 2006).

Consiste en el uso de plantas verdes para contener, remover o neutralizar compuestos orgánicos, metales pesados (Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, 2003).

Mediante el empleo de plantas resistentes y acumuladoras de metales es posible limpiar grandes extensiones de una forma económica y natural. Además, el volumen de residuos generado es mucho menor que el producido por las técnicas convencionales, de forma que se consigue minimizar el impacto ambiental. (Manacorda y Cuadros, 2005).

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. Los mecanismos de fitorremediación incluyen la rizodegradación, la fitoextracción, la fitodegradación y la fitoestabilización (Van Deuren *et al.*, 1997).

Las diferentes aplicaciones que puede llevar a cabo la fitorremediación esta se puede dividir en las siguientes áreas:

- 1.- Fitoextracción: utiliza la biomasa vegetal-extractiva para remediar suelos contaminados por metales pesados y algunos compuestos radiactivos.
- 2.- Rizofiltración: utilización de las raíces de las plantas para extraer los diferentes metales tóxicos.
- 3.- Fitoestabilización: las plantas se utilizan para eliminar la biodisponibilidad de los metales tóxicos del suelo.
- 4.- Fitodegradación: Las plantas y microorganismos asociados se pueden utilizar para degradar los agentes contaminantes del suelo.
- 5.- Fitovolatilización: los agentes contaminantes absorbidos por las plantas son convertidos en sus fases volátiles (gases) y liberados a la atmósfera por los estomas.
- 6.- Fitoestimulación: las raíces de las plantas son capaces de estimular microorganismos los cuales van a degradar los agentes contaminantes de la rizosfera (universidad de león, 2006)

2.7.1. Degradación

Las plantas pueden reforzar la degradación en la rizosfera (zona de influencia de la raíz). No es conocido si esto es debido a la actividad microbiana o simbiosis de hongos con la planta. Incluso que se lleve acabo por enzimas u otro factor fisico-químico efectuado en la raíz. Otro mecanismo posible para la degradación del contaminante es metabolizarlo dentro de la planta (EPA, 2000).

2.7.2. Acumulación

La fitoextracción es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas. Hay plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales acumulando en los tejidos (The University of Arizona, 2004).

2.7.3. Disipación

La volatilización o transpiración es otro mecanismo para eliminar contaminantes del suelo o agua de un sitio. Esta técnica es usada para compuestos orgánicos principalmente. No se ha demostrado que sea eficaz para otros contaminantes (EPA, 2000).

2.7.4. Procesos de entrada de metales pesados en la planta

El proceso de acumulación de metales involucra en general los siguientes mecanismos:

- a). Los iones alcanzan la zona de absorción de la raíz por difusión a través de la solución salina del suelo, son arrastrados por el movimiento del agua hacia la raíz o entran en contacto con las zonas de absorción a medida que la raíz crece. Los iones metálicos son movilizados por la secreción de quelantes o por la acidificación de la rizosfera.

- b). Las raíces capturan a los metales hidratados o a los complejos metal-quelante por medio de sistemas de transporte como bombas primarias, canales iónicos y transportadores. Dentro de las células los metales son quelados principalmente por fitoquelatinas, el exceso de metales es transportado a la vacuola.

c). Los metales se transportan de las raíces a la parte aérea vía el xilema, dentro de él los metales se presentan como iones hidratados o como complejo metal-quelante.

d). Después de penetrar el apoplasto de las hojas, los metales se distribuyen dentro de las célula, manteniendo en cada organelo las concentraciones dentro de rangos fisiológicos específicos, el exceso de metales esenciales y no esenciales como el plomo y cadmio se almacenan en las vacuolas (Maqueda, 2003).

La fitorremediación aprovecha los procesos naturales de la planta. Estos procesos incluyen la captación química, metabolismo de la planta e impactos físicos y bioquímicos de las raíces de las planta. El crecimiento de la planta depende de la fotosíntesis donde el agua y el dióxido de carbono y oxígeno, usando la energía de la luz del sol. Las raíces son eficientes extrayendo el agua contenido en la tierra, el extracto se sigue hacia la parte superior por el xilema. La transpiración (pérdida de vapor de agua de la planta hacia la atmósfera) ocurre principalmente por los estomas (apertura de las hojas y tallos donde ocurre el intercambio de gases (EPA, 2000).

2.7.5. Interacción de microorganismos y hongos con la fitorremediación

Los microorganismos son vectores muy eficaces para introducir metales pesados en las redes tróficas. En los suelos y sus sedimentos con pH neutro o alcalino, los metales pesados se inmovilizan. La producción microbiana de ácidos y agentes quelantes puede revertir el proceso de adsorción y movilizar los metales tóxicos. Entre los productos metabólicos microbianos que pueden quelatar metales se encuentran los ácidos carboxílicos y tricarboxílicos entre otros. Una vez que el metal pesado es

inmovilizado puede ser incorporado y acumulado intercelularmente por los microorganismos y por las raíces de las plantas. No se ha aclarado completamente por que algunos microorganismos adsorben y almacenan intercelularmente algunos metales. Su secuestro intercelular parece ser un efecto de resistencia a los mismos metales pesados, al menos en algunas bacterias. Los hongos filamentosos pueden transportar metales pesados por sus hifas, es posible que esta capacidad tenga como consecuencia la transmisión de estos contaminantes, a través de los hongos de la micorriza hacia las plantas superiores. Otra posibilidad es que las raíces incorporen los metales pesados movilizándolos por los ácidos y quelantes producidos por los microorganismos (Atlas y Bartha, 2002).

2.7.6. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados

Dentro de las plantas fitorremediadoras destacan las plantas llamadas hiperacumuladoras, las cuales son capaces de crecer en suelos contaminados con metales tóxicos y acumularlos a niveles extraordinarios elevados. Las plantas denominadas fitorremediadoras, poseen como atributos ideales la capacidad para acumular el (los) metal (es) de interés, preferiblemente en la parte superior de la planta, son tolerantes a la concentración del metal acumulado, crecen rápido, generan elevada producción de biomasa y resultan fácilmente cosechables (Maqueda, 2003).

2.7.7. Límites de la fitorremediación

Como resultado de la información temprana proporcionada por algunas investigaciones, ciudadanos dueños de sitios están interesados en la fitorremediación la tecnología mas limpia y económica que puede emplearse en sitios contaminados.

Aunque la investigación actual continúa estudiando y explorando los límites de esta técnica. Existen ciertas limitaciones basados en los sistemas remediación-planta (Pivetz, 2001).

2.7.8. Sistemas de la raíz

En los suelos contaminados por metales pesados las plantas los acumulan principalmente en el sistema radicular, tallo y hojas (Rafael, 2006).

El contacto de la raíz es una limitación primaria en fitorremediación. La remediación con plantas requiere que el contaminante esté en contacto con la zona de la raíz de las plantas. O bien las plantas deben de extender raíces hasta el estrato contenido o los contaminantes deben moverse dentro del rango de las plantas. Este movimiento puede lograrse con equipo agrícola normal y practicas como arar la tierra (Pivetz, 2001).

2.7.9. Tasa de crecimiento

La fitorremediación esta limitada por la tasa de crecimiento de la planta. Se puede requerir más tiempo al fitorremediar un sitio si se compara con otras tecnologías tradicionales. La excavación e incineración tarda semanas a meses para lograr la remediación, mientras que la fitoextracción o degradación puede necesitar varios años. Hay plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales acumulando en los tejidos concentraciones mucho más altas que las presentes en el suelo (Manacorda y Cuadros, 2005).

2.8. Descripción de la especie fitorremediadora

2.8.1. *La Bougainvillea*

Nombre científico: *Bougainvillea spectabilis*

Otros nombres: buganvilia, bouganvilla, boganvilla, trinitaria, bugenvíl, dania, flor de papel, santa rita, veranilla.

El género *Bougainvillea* pertenece a la familia de las *Nictagináceas*.

Las características de esta especie son: Arbusto trepador y/o rastrero, perenne, aunque puede llegar a comportarse como una especie de hoja caduca si se cultiva en latitudes con clima mediterráneo y temperaturas frías en invierno. Tronco con la corteza cuarteada y muy leñosa, de color marrón claro, con espinas en las ramas, generalmente en la base del nacimiento de las hojas. Hojas simples, alternas, perennes, semipersistentes o incluso caducas, ovaladas, puntiagudas, de color verde claro. flores de color amarillo claro, muy pequeñas y conforma de pequeño tubo alargado y estrellado al final, dispuestas de tres en tres, rodeadas por brácteas de intenso color rosa a rojo, pasando por el violeta, aparecen en el ápice de las ramas.

Usos: tradicionalmente se ha empleado como planta ornamental y en infusiones contra la tos. Más recientemente se ha descubierto que existe una relación directa entre el aumento del contenido de azufre y la disminución de la clorofila de esta planta en relación con la concentración de SO₂ ambiental, por lo que esta puede ser utilizada para evaluar los efectos de la contaminación y cuantificar los cambios biológicos en la vegetación cercana a las fuentes emisoras de dicha contaminación. Además esta planta tiene la capacidad de eliminar mercurio volátil (Lara y Marquez, 1996).

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Torreón Coahuila México, en áreas colindantes a la fábrica Met- Mex Peñoles ubicada al sur de esta ciudad en los meses de marzo - mayo de 2006. El municipio de Torreón se localiza en la parte oeste del sur del estado de Coahuila, en las coordenadas 103° 26'33" longitud oeste y 25° 32' 40" latitud norte, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar (INEGI 1999).

La metodología usada fue la siguiente:

3.1.1. a) Muestreo de suelo

Se tomaron muestras de suelo de aproximadamente 500 gramos del estrato 0-5 cm de profundidad, en áreas aledañas y lejana a la industria Met-Mex Peñoles. La muestras de suelo del área aledaña fueron 2 a 30 m de distancia en orientación sureste, 2 muestras al suroeste, 1 a 1000 m de distancia y otra a 1500 m de distancia con respecto a Met-Mex penoles. Se obtuvo una muestra lejana a una distancia aproximada de 15000 m en la colonia valle verde al noreste de Met-Mex. Penoles. Posteriormente se tomó 5 gramos de suelo seco y tamizado para determinar el contenido de plomo mediante la técnica recomendada por el IRENAT, "Determinación del plomo extraíble" con HNO_3 4 M realizando su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (PERKIN ELMER 2380).

3.1.2. b) Muestreo en *Bouganvillea spectabilis*

Se tomaron 2 muestras de raíz, 2 de tallo y 2 de hoja, en zonas aledañas a la industria Met-Mex Peñoles a una distancia de 30 metros aproximadamente en dirección sureste. Se tomaron 2 muestras de raíz, 2 de tallo y 2 de hoja, a una distancia aproximada de 1000 metros en dirección suroeste. En la zona lejana se tomo una muestra de raíz, tallo y hoja, en un área ubicada al noreste de la ciudad de torreón en la colonia valle verde ubicada a 15 Km. de distancia. En total fueron 15 muestras.

3.2. c) Análisis del laboratorio

Las muestras de *Bouganvillea spectabilis* y las del suelo, fueron analizadas en el laboratorio de suelos de UAAAN U.L, para determinar la concentración de plomo en suelos y en plantas a nivel de raíz, tallo y hoja. Para ello se utilizó la técnica propuesta por el IRENAT (1997). “Determinación del plomo extraíble” con HNO₃ 4 M Realizando su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (PERKIN ELMER 2380).

Los datos obtenidos fueron procesados para determinar la media aritmética de la concentración del plomo tanto en suelo como en raíces, tallos y hojas de la planta. También sirvieron para emplearlos como puntos de comparación con los límites máximos permisibles en seres humanos para México y los límites máximos permisibles para suelos de Estados unidos y España.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Plomo en el suelo

En el Cuadro 1 se pueden observar las diferentes concentraciones de plomo en el suelo. La concentración máxima del plomo en el suelo fue de 2780 ppm a 30 m de distancia con orientación sureste, la mínima concentración de plomo fue de 680 ppm a una distancia de 1500 m de la industria Met.-Mex Peñoles con orientación suroeste. Todo esto probablemente se deriva de la dominación de los vientos del área. La media calculada fue de 1730 ppm. Cabe mencionar que las concentraciones tanto máximas como mínimas se consideran elevadas de acuerdo a los límites máximos permisibles de los Estados Unidos (Valdez y Cabrera., 1998) y España (La Caxia, 1995).

La concentración de plomo encontrada en la zona lejana fue de 64 ppm. La importancia de este dato reside en que informa sobre la distribución que puede alcanzar el plomo desde la fuente emisora, por que una vez que cae al suelo, generalmente se adhiere a las partículas. La movilización dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo (ATSDR, 2005), aunque siempre existe la incertidumbre de saber con certeza de donde procede dicho plomo. Los resultados obtenidos en general son menores a los reportados por Bautista (2005), por ejemplo a una distancia de 1500 m en dirección sureste encontró 4565 ppm, este resultado tal vez se debe a la época en que se realizó el muestreo (fue en noviembre de 2005).

CUADRO 1 CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PENOLES, CON UNA ORIENTACION SURESTE, SUROESTE Y NORESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.

Muestras	Distancia (m)	Orientación	Resultados Pb. (ppm)	Límites máximos permisibles en suelos de EUA. (ppm)	Límites máximos permisibles de plomo en la sangre. (ppm)
1	30	Sureste	2780		
2	200	Sureste	2480		
3	1 000	Suroeste	980	500	0.1
4	1 250	Suroeste	680		
X			1730		
5	15 000	Noreste	64		

4.2.1. Concentración de plomo en la *Bouganvillea spectabilis* a nivel raíz

En el Cuadro 2 Se puede observar la concentración máxima del plomo en la *Bouganvillea spectabilis*, que se presentó en la raíz y que fue de 250 ppm con la orientación sureste y su mínima concentración encontrada fue de 89 ppm de plomo en la muestra tomada al suroeste con una distancia aproximada de 1500 m. La media de las 4 primeras muestras fue de 170.25 ppm. Además la muestra que se tomó en la zona lejana tiene 22 ppm de plomo, que probablemente provenga del plomo que es transportado por el viento, o por las emisiones de los vehículos de motor en movimiento o por alguna fuente no detectada.

Rafael (2006) menciona que en los suelos contaminados por metales pesados las plantas los acumulan principalmente en el sistema radicular.

4.2.2. Concentración de plomo en la *Bouganvillea spectabilis* a nivel tallo

En el Cuadro 3 Se puede observar que la concentración máxima del plomo en el tallo, fue de 174 ppm de en las plantas con orientación sureste a una distancia de 30 m y su mínima concentración encontrada fue de 44 ppm de plomo ubicado al suroeste con una distancia de 1500 m. También se obtuvo la media de las 4 primeras muestras que fue de 114 ppm. Además la muestra que se tomo en la zona lejana fue de 6 ppm. De hecho en el tallo fue en donde menos plomo se encontró y esto se explica porque estas son

estructuras de transporte o sea que los solutos van de paso o conducción hacia las estructuras en las cuales van a realizar alguna función.

Maqueda (2003), menciona que los metales se transportan de las raíces a la parte aérea vía el xilema, dentro de él los metales se presentan como iones hidratados o como complejo metal-quelante.

4.2.3. Concentración de plomo en la *Bougainvillea spectabilis* a nivel hoja

En el Cuadro 4 Se puede observar la concentración máxima del plomo encontrada en las hojas, fue de 142 ppm en plantas con orientación suroeste a una distancia de 30 m y su mínima concentración hallada fue de 33 ppm de plomo ubicado al suroeste con una distancia de 1500 m. La media de las cuatro primeras muestras fue de 95.75 ppm, lo cual es superior a los hallado por Bautista (2005) que fue de 31 ppm. La muestra obtenida en la zona lejana tiene 11 ppm de plomo, lo que se considera lógico si se toma en cuenta que en el tallo fue un poco menor la concentración hallada. Sin embargo, si es para tomarla en cuenta esta concentración, ya que el plomo acumulado en las hojas que están aledañas en la mayor distancia presenta datos de 33 ppm.

Según Maqueda (2003), después de penetrar el apoplasto de las hojas, los metales se distribuyen dentro de las células, manteniendo en cada organelo las concentraciones dentro de rangos fisiológicos específicos, el exceso de metales esenciales y no esenciales como el plomo y cadmio se almacenan en las vacuolas.

CUADRO 2 CONCENTRACIÓN DE PLOMO (Pb) EN LA RAÍZ DE LA *Bougainvillea spectabilis*, DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PENOLES CON UNA ORIENTACION SURESTE, SUROESTE Y NORESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.

Muestras	Distancia (m)	Orientación	Resultados Pb. (ppm)
1	30	Sureste	250
2	30	Sureste	241
3	1 000	Suroeste	101
4	1 500	Suroeste	89
X			170.25
5	15000	Noreste	22

CUADRO 3 CONCENTRACIÓN DE PLOMO (Pb) EN EL TALLO DE LA *Bougainvillea spectabilis*, DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PENOLES, CON UNA ORIENTACION SURESTE, SUROESTE Y NORESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.

Muestras	Distancia (m)	Orientación	Resultados Pb (ppm)
1	30	Sureste	174
2	30	Sureste	158
3	1 000	suroeste	80
4	1 500	suroeste	44
X			114
5	15 000	Noreste	6

CUADRO 4 CONCENTRACIÓN DE PLOMO (Pb) EN LA HOJA DE LA *Bougainvillea spectabilis*, DE AREA COLINDANTE Y LEJANA A LA INDUSTRIA MET-MEX PENOLES, CON UNA ORIENTACION SURESTE, SUROESTE Y NORESTE. TORREON COAHUILA, MEXICO. MARZO DE 2006.

Muestras	Distancia (m)	Orientación	Resultados Pb (ppm)
1	30	Sureste	142
2	30	Sureste	142
3	1 000	Suroeste	66
4	1 500	Suroeste	33
X			95.75
5	15 000	Noreste	11

El Cuadro 5, muestra que la concentración de plomo en el suelo corresponde a un 82 % del total de plomo hallado en los suelos y las plantas. Mientras que la concentración en las plantas fue de 18 %. Este dato es importante ya que informa cuanto plomo esta siendo reteniendo por la planta con respecto al que está en los suelos. La concentración máxima de plomo en el suelo encontrada por Bautista (2005) fue de 9225 ppm que es superior a la encontrada en este trabajo (2780 ppm), mientras que la mínima fue de 213 que es inferior a la encontrada en este trabajo (680 ppm). La concentración promedio fue de 1447 ppm en el estudio de Bautista (2005), mientras que en este fue de 1730 ppm. Las variaciones en los resultados hallados por Bautista (2005) comparados con los de este estudio se deben a diversos factores como época del año, mayor emisión de plomo entre otros.

CUADRO 5 CONCENTRACION DE PLOMO PROMEDIO, MAXIMA, MINIMA Y TOTAL. OBTENIDAS EN EL SUELO Y EN LA *Bouganvillea spectabilis*, UBICADAS EN ZONAS ALEDANAS A MET-MEX PENOLES. TORREON COAHUILA. MARZO DE 2006.

	Suelo			<i>Bouganvillea spectabilis</i>		
	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima
Concentración de plomo (ppm)	1730	2780	680	380	566	166
Total de plomo acumulado (ppm)	6920			1520		
Total (ppm)	8440					

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dadas las contaminaciones presentadas en todas partes del mundo incluyendo México, se ha tenido la necesidad de buscar técnicas de innovación para el saneamiento y/o rehabilitación del ambiente. La fitorremediación es una de ellas.

Los datos arrojados en esta investigación demuestran el grado de contaminación del suelo dados por la presencia del plomo.

Los datos obtenidos demuestran que efectivamente la *Bougainvillea spectabilis*, es una planta que tiene la capacidad de retener el plomo, en sus raíces, tallos y hojas, sin que se vea afectado el estado de salud ni las funciones vitales que tiene que llevar a cabo para su sobrevivencia y adaptación. Aunque en el suelo existen elevadas concentración de plomo, esto no ha sido impedimento para que esta especie tenga un desarrollo aceptable, lo cual prueba la capacidad remediadora de esta planta.

La concentración de plomo en los suelos rebasan los límites máximos permisibles de la normatividad de los EUA y España por lo que se necesita tomar acciones rápidas y adecuadas para solucionar o cuando menos atenuar esta problemática.

En México todavía no existe ninguna Norma Oficial Mexicana aplicable a suelos para este tipo de contaminación, por lo tanto se debe tomar acciones correctivas para reducir el impacto que esta causando el plomo en el suelo y plantas.

Se recomienda apoyar a la fitorremediación ya que es una de las técnicas que tiene como objetivo de retener, asimilar y metabolizar metales pesados en el medio ambiente, compuestos orgánicos y compuestos radioactivos por medio de la acción combinada de plantas y microorganismos con capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar sustancias contaminantes a formas menos tóxicas.

La concentración del plomo que se encontró a 15,000 m de distancia al noreste de la industria Met-Mex Peñoles posiblemente se debe al transporte de este elemento provocado por la acción del viento, aunque es posible que también provengan de la combustión interna de los vehículos que circulan en esa área o de alguna fuente no identificada.

VI. LITERATURA CITADA.

- Alexander, M. (1994). Biodegradation and Bioremediation. Academic Press, San Diego. 302 pp.
- América A. L. 2004. (En línea), Met-mex Peñoles y los Niños de Torreón. Consultora en toxicología ambiental y evaluación de riesgos, Xalapa, México, <http://www.sertox.com.ar/retel/default.htm> (Consultada el 2 de septiembre del 2006).
- Atlas Ronald M, Bartha Richard (2002). Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental. 4^{ta} edición. Editorial pearson Educación S.A. Madrid.
- ATSDR. 2005. (En línea). Resumen de Salud Pública, http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html. (Consultada el 8 septiembre del 2006).
- (ATSDR). 2005. (En línea). Plomo, http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html. (Consultada el 8 de septiembre del 2006)
- Badash, 2006. (En línea). Envenenamiento por metales pesados. healthlibrary.epnet.com/print.aspx?token=32d718a0-166a-4083-8595-fcf396db9201&chunkiid=104043. (Consultada el 8 de septiembre de 2006).
- Ceto, N. 2003. (En línea). Intervención ambiental en sitios contaminados por plomo: la experiencia en los Estados Unidos de América. www.insp.mx/salud/45/45s2_8.pdf. (Consultada el día 6 de septiembre de 2006)
- Comisión de calidad ambiental de Texas. 2004. (en línea). El envenenamiento con plomo. www.tceq.state.tx.us/comm_exec/forms_pubs/pubs/gi/gi-069esp_233487.pdf. (Consultada el 9 de septiembre de 2006).

- Cortinas de Nava cristina y Cintia Mosler G. (2002). Gestión de residuos peligrosos. Universidad autónoma de México. México.
- El cuaderno de por que biotecnología, 2006. (En línea) Biorremediacion organismos que limpian el ambiente. www.porquebiotecnologia.com.ar/educacion/cuaderno/doc/EI%20Cuaderno%2036.doc (Consultado el día 14 de septiembre de 2006).
- EPA, 2000 (En línea) Introduction to Phytoremediation. National Risk management research laboratory. <http://www.aehs.com/journals/phytoremediation>. (Consultada el día 14 de septiembre de 2006).
- EPA, 2001 (En línea) An Analysis of Composting as an Environmental Remediation Technology. <http://www.aehs.com/journals/phytoremediation.epa> (Consultada el 11 de septiembre de 2006).
- Expediente de trabajo. 1998. (en línea), Expediente de nominación sobre el plomo, www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/Nom-lead_es.pdf. (Consultada el 6 de septiembre de 2006).
- Ferrer, A. 2003. (En línea), intoxicación por metales. www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol26/sup1/pdf/07Intoxicación%20por%20metales.pdf. (Consultada el día 7 de septiembre de 2006).
- Foroughbakhch, R. Torres, T. Alvarado, M. (2004). Tópicos selectos de Botánica. Primera edición, impreso en México.
- INE. 2005. (En línea) El Plomo. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/235/cap3.html>. (Consultada el 3 de septiembre del 2006).

INE, 2005. (En línea), Lo que usted debe saber sobre el plomo, <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/folletos/98/98.html>, (Consultada el 5 de septiembre de 2006).

INE. 2005. (En línea) Tecnologías de Remediación, <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/372/tecnolog.html>. (Consultada el 6 de septiembre de 2006).

INEGI 1999. (En línea). Ubicación geográfica de torreón Coahuila. <http://mapserver.inegi.gob.mx>. (Consultada el día 04 de Octubre del 2006).

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

Lara O. F, C. Márquez A. (1996). Plantas medicinales de México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Manacorda, A y Cuadros, D. 2005, (En línea). Técnicas de remediación biológicas. http://www.essa.uncoma.edu.ar/academica/materias/microbiologia_ambiental/tecnicas_de_remediacion_biologicas.pdf (Consultado el día 28 de septiembre de 2006)

MAN, 2006. (En línea). Restauración y remediación III: Suelos y Aguas subterráneas. <http://www.uclm.es/users/higuera/mam/MAM10.htm>. (Consultada el día 12 de septiembre de 2006).

Maqueda, A. 2003 (En línea). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mbt/maqueda_g_ap/capitulo4.pdf. (Consultada el día 22 de septiembre de 2006).

Pérez J. García G y Esparza F. 2002 (En línea). Papel Ecológico de la Flora Risosferica en Fitorremediación, www.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/sepoct02/PAPELECOLOGICO.PDF (Consultado el día 13 de septiembre de 2006).

Pivetz, M. E (2002) Ground water issue. United States. Environmental protection agency. U.S.A.

Rafael, I. J. 2006, (En línea). Plomo. <http://webdelprofesor.ula.ve/farmacia/lunajr/escuela/plomo.ppt#257,1>, Plomo (Consultado el día 26 de septiembre de 2006).

Randy H. Adams Schroeder¹, Verónica I. Domínguez Rodríguez y Leonardo García Hernández. 1999. (en línea) Potencial de la Biorremediación de suelo y Agua impactados por petróleo en el trópico Mexicano. www.chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art159-174.pdf (Consultada el día 13 de septiembre de 2006).

Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, 2003, (En línea) El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. www.aet.org/ecosistemas/032/documentos/Informe1.pdf (Consultada el día 15 de septiembre de 2006).

Saval S. 1997. (En línea). La reparación del daño aspectos técnicos: remediación restauración. www.bibliojuridica.org/libros/1/141/9.pdf. (Consultada el día 12 de septiembre de 2006).

Schmidt W. 2006 (En línea). La biorremediación como una solución ecológicamente compatible. www.gtz.org.mx/sitios-contam/articulos/Bioremed_Mex2.pdf. (Consultada el día 13 de septiembre de 2006)

Smoots. 2006. (En línea). Intoxicación por plomo. healthlibrary.epnet.com/print.aspx?token=a69a3720-1856-4368-a0de-70fab1b892d&chunkiid=103603. (Consultada el 8 de septiembre de 2006).

Saval, s. (1998). Biorremediación de suelos y acuíferos. Situación actual y perspectivas en México. Sociedad mexicana de biotecnología y bioingeniería, A. C. vol. 3.

Semple, K.T.; Reid, B.J. y Fermor, T.R. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environ. Pollution*.

The University of Arizona. 2004 (En línea) restauración ambiental, <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c4-3-1-2.html> (Consultada el 6 de septiembre de 2006).

Universidad Autónoma de Zacatecas. 2005. (En línea), Evaluación de riesgos ambientales por plomo en la población de vetagrande Zacatecas, <http://www.ine.gob.mx/dgicurg/download/Inf-Vetagrande%20final-1004-ene%20final.pdf>. (Consultada el 6 de septiembre de 2006).

Universidad de León 2006, (En línea) Eliminación de contaminantes para las plantas. <http://html.rincondelvago.com/eliminacion-de-contaminantes-para-las-plantas.html>. (Consultada el día 17 de septiembre de 2006)

Valdez F. V. M. Cabrera, 1999. (En línea) La Contaminación por Metales Pesados en Torreón Coahuila, México, <http://www.texascenter.org/publications/torreon.pdf> (Consultada el 3 de septiembre del 2006).

Valdez. 2001. (En línea). Contaminación por metales pesados en torreón, Coahuila. <http://www.jornada.unam.mx/2001/04/30/eco-valdez.html>. (Consultada el 7 de septiembre de 2006).

Van Deuren, J.; Wang, Z. y Ledbetter, J. 1997. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide. 3^a Ed. Technology Innovation Office, EPA. <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>. (Recuperado el día 11 de septiembre de 2006).

Van Deuren, J.; Wang, Z. y Ledbetter, J. 1997. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide. 3^a Ed. Technology Innovation Office, EPA. <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>.

Vargas, G. P., Rene. R. C. y Jenny D., 2004. (En línea). Biorremediación del residuo del petróleo. <http://ciencias.uniandes.edu.co/pdf/petroleo.pdf#search=%22bioaumentacion%22>. (Consultada el día 9 de septiembre de 2006).