

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CON METALES
PESADOS (PLOMO Y CADMIO) POR MEDIO DE
GOBERNADORA *Larrea tridentata* CAV.**

POR

PEDRO GONZÁLEZ CASTRO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

**FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CON METALES PESADOS (PLOMO
Y CADMIO) POR MEDIO DE GOBERNADORA *Larrea tridentata* CAV.**

TESIS

PRESENTADA POR:

PEDRO GONZÁLEZ CASTRO

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

COMITÉ EVALUADOR

PRESIDENTE:



M.C. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ.

VOCAL:



M.C. AMANDA JARAMILLO SANTOS.

VOCAL:



ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO.

VOCAL SUPLENTE:



M.C. MA. DE JESUS RIVERA GONZÁLEZ.

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.



M.C. JAVIER ARAIZA CHÁVEZ.

TORREÓN, COAHUILA, MEXICO

FEBRERO DEL 2007.


00089

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CON METALES PESADOS (PLOMO
Y CADMIO) POR MEDIO DE GOBERNADORA *Larrea tridentata* CAV.

TESIS

PRESENTADA POR:

PEDRO GONZÁLEZ CASTRO

BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADA
COMO REQUISISTO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

COMITÉ ASESOR

ASESOR PRINCIPAL:


M.C. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ.

ASESOR:


M.C. AMANDA JARAMILLO SANTOS.

ASESOR:


ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO.

ASESOR:


M.C. MA. DE JESÚS RÍVERA GONZÁLEZ.

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.


M.C. JAVIER ARAIZA CHÁVEZ.

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

FEBRERO DEL 2007.

00089

Agradecimientos

A Dios

Por darme la existencia y la fuerza que me motiva para seguir luchando día a día, a ti señor te doy las gracias por estar conmigo en este mundo tan maravilloso.

A Mi Alma Terra Mater

Por el tiempo tan satisfactorio para prepararme como un verdadero profesionalista.

A mis Asesores

M.C.. Héctor Montaña Rodríguez.

M.C.. Amanda Jaramillo Santos.

M.C.. Maria de Jesús Rivera González.

Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano.

Gracias por brindarme todos sus apoyos en la realización de este trabajo de investigación y de depositar su confianza en mí.

Al Ing. Cesar Guerrero Guerrero por su valioso apoyo, tiempo y dedicación en la realización de este trabajo de investigación.

A mis compañeros de Generación: Erika, Rosa Isabel, Claudia, Amparo, Helena, Celeyman, Jorge Martín, Ray Oscar, Marcos, Juan Carlos, Hiran, Gabriel, Alejandro, Elías, Jesús y Himer por su valiosa amistad y mis mejores deseos para cada uno de ellos.

Dedicatorias

A Dios

Gracias a ti señor por iluminarme y enseñarme el camino de la sabiduría, sobre todo por haber logrado uno de mis mejores objetivos más importante en la vida que es haber culminado una carrera profesional.

A mis Padres

Al Sr. Pedro González Torres y la Sra. Evangelina Castro Sánchez mil gracias por darme la oportunidad de cumplir mis sueños y darme la mejor herencia de la vida.

A mis Hermanos

Candelaria, Reyna, Freddy (+), Erie, Graciela, Zaira, Roseyby, Martha, Maria Luz, José Manuel y Eva Lizbeth por su valioso apoyo moral y económico que me brindaron durante todo el tiempo de mis estudios. Gracias y les quiero mucho.

Gracias a todas aquellas personas que me aprecian, me motivan, me aconsejan y que me brindan su cariño y comprensión. "Gracias."

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
INDICE DE CUADROS.....	III
INDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS.....	IV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
	Pág.
CAPITULO I.	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3 OBJETIVOS.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 LIMITANTES.....	6
CAPITULO II. MARCO TEORICO	
2.1 FUENTE DE CONTAMINACIÓN EN EL AMBIENTE GENERAL.....	8
2.2 CONCEPTOS DE FITORREMEDIACIÓN.....	9
2.3 MECANISMOS Y FASES DE FITORREMEDIACIÓN.....	11
2.4 INTERACCIONES PLANTA-MICROORGANISMO EN SUELOS CONTAMINADOS.....	16
2.5 EFECTO DEL CADMIO A LA SALUD.....	17
2.6 FUENTES DE CONTAMINACION POR CADMIO.....	18
2.7 COMPORTAMIENTO DEL CADMIO EN EL SUELO.....	19
2.8 EFECTO DEL CADMIO EN LAS PLANTAS.....	21
2.9 EFECTO DEL pH EN EL SUELO.....	21
2.10 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE <i>Larrea tridentata</i> CAV.....	22
2.11 DESCRIPCIÓN <i>Larrea tridentata</i> . CAV.....	22
2.11.1 DISTRIBUCIÓN.....	24
2.11.2 HÁBITAT.....	24
2.11.3 VEGETACIÓN Y ZONA ECOLÓGICA.....	25
2.11.4 FENOLOGÍA.....	25
2.11.5 ASPECTOS FISIOLÓGICOS.....	25
2.11.6 SEMILLA.....	27
2.11.7 EXPERIENCIAS CON LA PLANTA.....	27
2.11.8 PROPAGACIÓN.....	27
2.11.9 SERVICIO AL AMBIENTE.....	28
2.11.10 TOLERANCIA.....	28
2.11.11 USOS.....	29
2.12 COMPORTAMIENTO DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO.....	31
2.13 EFECTOS DEL PLOMO EN LA SALUD.....	32
2.14 EFECTO DEL PLOMO EN LAS PLANTAS.....	32
2.15 NORMATIVIDAD EN METALES PESADOS.....	32

CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL EXPERIMENTO.....	34
3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO DE LA SIERRA DE LAS NOAS.....	34
3.3 METODOLOGÍA.....	35
3.3.1 Metodología para la determinación de pH del suelo.....	36
3.3.2 Metodología para la determinación de la conductividad eléctrica del suelo.....	36
3.3.3 Metodología para el análisis de plomo y cadmio en el suelo.....	37
3.3.4 Diseño experimental.....	38

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL pH DEL SUELO.....	39
4.2 RESULTADOS DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.....	40
4.3 RESULTADOS DE PLOMO EN EL SUELO.....	41
4.4 RESULTADOS DE CADMIO EN EL SUELO.....	42
4.5 DETERMINACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO CON VARIACIÓN DE PH.....	43
4.6 RESULTADOS DE PLOMO Y CADMIO EN LAS ESTRUCTURAS DE LA PLANTA (RAÍZ, TALLO Y HOJA) DE <i>Larrea tridentata</i>	44

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 DETERMINACIÓN DEL PH DEL SUELO.....	53
5.2 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	53
5.3 DETERMINACIÓN DEL PLOMO EN EL SUELO.....	53
5.4 DETERMINACIÓN DEL CADMIO EN EL SUELO.....	54
5.5 DETERMINACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO CON VARIACIÓN DE PH.....	54
5.6 DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN LAS ESTRUCTURAS DE LA PLANTA (RAÍZ, TALLO Y HOJA) DE LARREA TRIDENTATA.....	55
5.7 RECOMENDACIONES.....	56
5.7.1 SEGUIMIENTO AL TRABAJO DE INVESTIGACION.....	57

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFIA

APENDICE I.-RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE <i>Larrea tridentata</i> . CAV....	67
APENDICE II.-RESULTADOS DE LOS ANALISIS ESTADISTICOS DE PLOMO Y CADMIO DE <i>Larrea tridentata</i>	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.4. Clasificación del suelo con respecto a los parámetros establecidos de pH.....	36
Cuadro 3.5 Parámetros establecidos para la conductividad eléctrica.....	37
Cuadro 4.1 Resultados de análisis de pH del suelo.....	39
Cuadro 4.2 Resultados de análisis de conductividad eléctrica.....	41
Cuadro 4.3 Niveles de plomo encontrados en el suelo.....	42
Cuadro 4.4 Niveles de Cadmio encontrados en el suelo.....	43
Cuadro 4.5 Niveles de plomo en el suelo con variación de pH.....	44
Cuadro 4.5.1 Niveles de plomo en el suelo con variación de pH.....	43
Cuadro 4.6 Análisis de varianza utilizado para el proceso estadístico de los datos obtenidos de la planta.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 1. Modelo conceptual de las interacciones de suelo, planta (mecanismos) y microorganismos para la biodegradación de las moléculas orgánicas xenobióticas.....	15
Figura 2. Trabajos de Fitorremediación.....	17
Figura 3.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	34
Grafica 4.1 Resultados de análisis de pH del suelo en cada una de las localidades.....	40
Grafica 4.2. Resultados de análisis de conductividad eléctrica.....	41
Grafica 4.6.1 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para <i>Larrea tridentata</i>	47
Grafica 4.6.2 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para <i>Larrea tridentata</i>	48
Grafica 4.6.3 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para <i>Larrea tridentata</i>	48
Grafica 4.6.4 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para <i>Larrea tridentata</i>	49
Grafica 4.6.5 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para <i>Larrea tridentata</i>	50
Grafica 4.7 Concentración de plomo en mg/L en las diferentes estructuras analizadas para todas las muestras de plantas.....	51
Grafica 4.7 Concentración de cadmio en mg/L en las diferentes estructuras analizadas para todas las muestras de plantas.....	52

I. INTRODUCCIÓN.

En México, como consecuencia del desarrollo industrial, se registra una creciente y preocupante contaminación ambiental, sobre todo a raíz de varios siglos de actividad minera y, desde hace décadas, por la intensa explotación petrolera. La industria minera es una de las actividades económicas de mayor tradición en México, la cual, es mayoritariamente metálica y se dedica principalmente a la producción de Cu, Zn, Ag, Au y Pb. Desafortunadamente, esta actividad tiene un alto impacto ambiental, ya que afecta desde el subsuelo hasta la atmósfera, incluyendo suelos y cuerpos de agua. Debido al procesamiento de los recursos minerales, se han producido grandes cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que han generado una gran cantidad de sitios contaminados a lo largo de todo el país.¹

Una de las técnicas empleadas por el hombre para remediar suelos y aguas contaminadas con compuestos orgánicos, inorgánicos y compuestos radiactivos es el uso de especies vegetales diversas y microorganismos con capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar ó transformar sustancias contaminantes a formas menos tóxicas en diferentes sitios contaminados.

Algunas especies del género *Larrea* han respondido como indicadores de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados, tal ha sido el caso de *Larrea tridentata*.

El objetivo de este trabajo fue determinar plantas de la especie *Larrea tridentata* el contenido de Plomo y Cadmio en sus estructuras raíz, tallo y hoja, así como la presencia de estos metales pesados en el suelo y su condición que ejerce el pH para evaluar la capacidad fitorremediadora.

La presente investigación pretende lograr a corto plazo implementar a través de la técnica de fitorremediación remediar suelos contaminados con metales pesados por medio de gobernadora *Larrea tridentata*.

¹SEMARNAT. Identificación y Caracterización de Sitios Contaminados con Residuos Peligrosos. México. Pág. 19. 2000.

CAPITULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El plomo es uno de los constituyentes principales de la corteza terrestre, se encuentra también en menor proporción en el agua de los mares, su ductibilidad, gran resistencia a la erosión y otras propiedades lo hace uno de los metales más útiles. Su presencia en el cuerpo humano se ha hecho evidente y actualmente se ha detectado en hombres y animales, en los estados de Norteamérica, en algunos países Orientales y en África.²

MET MEX PEÑOLES es la única fundidora primaria 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.³ 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 han realizado en torno a este problema tiene como factor principal el plomo.

Cada año, entre 12,000 y 16,000 niños norteamericanos de edad inferior a los 9 años de edad han de ser tratados por envenenamiento agudo por plomo, y 200 mueren. El 30% de los sobrevivientes sufren parálisis, ceguera y retraso mental. Los niños menores de 6 años y los fetos nonatos con niveles de plomo muy bajos en sangre son susceptibles a daños en sistema nervioso, afectando el coeficiente intelectual, hiperactividad, cambios en el comportamiento y afectación del aparato auditivo. Entre 1976 y 1992 el porcentaje de niños norteamericanos de 1 a 5 años de edad, con niveles de plomo superiores a 10 mg/dl, bajó del 86% al 6% en niños blancos y del 98% al 21% en niños negros, evitando al menos 9 millones de envenenamientos infantiles por plomo.⁴

²Schroeder, H. A. The poisons around us. Bloomington, p.144. India univ. Press. 1974.

³Valdés F, y V. M. Cabrera. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. 1ª Ed. Texas Center for Policy Studies, CILADHAC, 1999.

⁴Miller, Jr. T. Introducción a la ciencia ambiental. p. 390. Editorial Iberoamericana, S. A. 2002.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el mundo industrializado es la contaminación de aire, agua y suelo. Solo en Europa se encuentran contaminados más de 350,000 sitios.⁵ En Japón, se ha informado de la creciente contaminación del suelo en zonas urbanas, en particular en los terrenos ocupados por instalaciones industriales, y de las fuentes de abastecimiento de agua.⁶ Los materiales emitidos directamente desde fuentes industriales y agrícolas son los causantes de una considerable contaminación del suelo y del agua en los Estados Unidos. Existen en torno a 14,000 zonas industriales en ese país que generan cerca de 256 toneladas de residuos peligrosos.⁷

De acuerdo con la estadística de la Procuraduría federal 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 mas comúnmente involucrados se encuentran el petróleo y sus derivados (gasolina, combustoleo, diesel), agroquímicos, gas LP y natural, entre otros.⁸

Las fuentes de contaminación por plomo son muy diversas en los estados unidos, las pinturas de casa construidas en los años de 1980, todos los polvos generados en estas casas tienen plomo, el agua potable en las casas que presentan tubería de cobre pero soldadura de plomo son fuentes de contaminación, los residuos sólidos o basureros son fuentes de plomo en suelo, aire y los mantos de agua subterránea, los incineradores de residuos sólidos también aportan plomo el medio ambiente, los alimentos enlatados que usan soldadura de plomo en su proceso, los utensilios de cocina de cerámica de los hogares (tazas, platos, ollas, sartenes), los contenedores de vinos.⁹

⁵Bojorquez, T. I, y A. García. Aspectos microbiológicos de la auditoria ambiental. Pp. 59-73. UNAM – PEMEX. 1995.

⁶Cortinas N. C. y Mosler G. C. Gestión de residuos peligrosos. Universidad Autónoma de México. México. 2002.

⁷Levin, M. y A. M. Gealt. Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. McGrawHill. 1997.

⁸PROFEPA. Restauración de suelos contaminados. Pág. Web México. 1999.

⁹Miller, Jr. T. Ecología y medio ambiente. México, D. F. Editorial Iberoamericana, S. A. 1974.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en la salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud en el mundo ponen atención en minimizar la exposición de la población, en particular la infantil a estos metales pesados.¹⁰

La contaminación de metales pesados en suelos plantea una seria amenaza para la salud y se ha convertido en uno de los factores principales que constriñe en remediar una gran variedad de sitios contaminados.¹¹

Las fuentes naturales incluyen el intemperismo de las rocas y de los depósitos de los metales, la erupción de los volcanes, los incendios y polvo transportado por los vientos. La contribución antropogénica de plomo, al suelo es debida a prácticas agrícola como el deseo de los agricultores de recuperar tierras, mejorar su calidad, limpiar sus cultivos de plagas y asegurar a estos y a sus animales una provisión de agua adecuada.¹²

¹⁰Ibidem. 1ª Ed. Texas Center for Policy Studies, CILADHAC, 1999.

¹¹Peters, R. W. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. pp. 151-210. Vol. 66. J. Hazard. Mater. 1999.

¹²Warren, H. V., R. E. y colaboradores. Trace substances in environment, Health. pp. 94-103. Vol. 4. 1971.

Los residuos industriales y domésticos se han contemplado como una forma barata de recuperación y relleno de la tierra; los dragados de puertos y canales, los desechos de las minas, las escorias pulverizadas de toda clase, las cenizas de las plantas generadoras de energía, la basura industrial y doméstica y los lodos provenientes de las aguas negras; estos desechos generalmente contienen una alta concentración de plomo y otros elementos.^{13 y 14}

El uso inapropiado del plomo ha producido envenenamiento desde la antigüedad, la enfermedad llamada saturnismo (del nombre asignado al plomo por los alquimistas), fue descrita por primera vez por Nicandro hace 2000 años. Actualmente, el plomo se encuentra en el aire, el agua de consumo y el suelo como resultado de una variedad de actividades humanas.¹⁵

El cadmio está presente en suelos contaminados, en algunas tuberías antiguas, en algunas pinturas (sobre todo de color rojo, amarillo y naranja) y en algunos plásticos. El cadmio puede ser adquirido por comer polvo contaminado, por el uso de utensilios de plástico en la alimentación, por inhalar humo de tabaco y por ingerir agua contaminada.

La fitorremediación es el nombre que se da a una serie de tecnologías las cuales usan especies vegetales diversas para la contención, destrucción, disipación o extracción de contaminantes orgánicos o inorgánicos depositados en el suelo o agua.

¹³Page A. L. Fate and effects of trace elements in sewage sludge when applied to agricultural lands, pp. 97. rept. No. EPA 670/2-74-005. Cincinnati, Ohio, USA. 1974.

¹⁴Thomas, R. E. Land application of sewage effluents and sludges: selected abstracts. pp. 248. rept. EPA 600/2-74-042, Corvallis, Oregon, 1974.

¹⁵Kehoe, R. A. The metabolism of lead in man in health and disease, pp. 81-101. Vol. 24. J. Inst. Publ. Health Hyg. 1961.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo general.

- ✓ Determinar la capacidad de fitorremediación de metales pesados Plomo y Cadmio por la Gobernadora (*Larrea tridentata*) (CAV).

1.3.2 Objetivos específicos.

- ✓ Determinar la distribución de Plomo y Cadmio en la Gobernadora (*Larrea tridentata*) (CAV.) en su estructura raíz, tallo y hoja.
- ✓ Determinar el efecto que ejerce el pH en la determinación de Plomo y Cadmio en la Gobernadora (*Larrea tridentata*). (CAV.).

1.4 LIMITANTES.

- ✓ Realizar el trabajo en un tiempo de un año.
- ✓ La determinación de la edad de los ejemplares muestreados; buscando que fueran homogéneas.
- ✓ La distribución de las localidades muestreadas con bastante dispersión.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

Debido a la gran cantidad de actividad industrial a lo largo del último siglo, la contaminación por metales pesados en el ambiente se ha vuelto un serio dilema. Muchos de estos metales tóxicos entran en el ambiente por la combustión de combustible fósil así como la minería y en los procesos de fundición.¹⁶

Actualmente, aquellos sitios que contienen las concentraciones más altas de metales pesados se sitúan cerca de las fuentes industriales como las fundiciones y refinerías de acero.¹⁷

El riesgo de acumulación de contaminantes en suelos y cultivos a causa de la incorporación de impurezas presentes en los agroquímicos, de las actividades industriales o por contaminación ambiental, ha sido objeto de estudio en diversos países.

Específicamente la absorción de cadmio por las plantas en suelos contaminados y su incorporación a la cadena alimenticia, tiene en la actualidad mucha importancia, debido a que se ha demostrado¹⁸ que este elemento puede alterar el metabolismo humano ya que compite con el Fe, Cu, Zn, Mn y Se por los ligantes en los sistemas biológicos. El ión cadmio divalente disminuye significativamente la absorción intestinal del hierro en el cuerpo humano.¹⁹

¹⁶Fernandez J. C. y colaboradores. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. pp. 246-273. Vol. 57. Bot rev. 1991.

¹⁷Worthington R. D. Effects of El Paso pollutants on the lichen, moss, and winter annual flora on andesite rock formations, Environmental Hazards and Bioresource Management in the United States-Mexico Borderlands, pp. 105-115. UCLA Latin American Center Publications, USA. 1989.

¹⁸Kozlowaska, K., y colaboradores. The effect of cadmium ion on iron methabolism. Proc. Nutritional, Chemical and Food Processing Implications of nutrient Availability. pp. 136-140. Part 2. FECS, Alemania. 1993.

¹⁹Shuman, K., y colaboradores. Agedependent effects of oral cadmium on iron availability. Proc. Nutritional, Chemical and Food Processing Implications of nutrient Availability. pp. 220-224. Part 2. FECS, Alemania. 1993.

2.1 FUENTE DE CONTAMINACIÓN EN EL AMBIENTE GENERAL.

Las fuentes más comunes de emisión de plomo que contaminan la atmósfera, el suelo y los cursos de agua son aquellas que involucran a los procesos industriales que utilizan plomo o productos que lo contienen y las naftas adicionadas de tetraetilo de plomo. La principal contaminación ambiental se debe a compuestos inorgánicos de plomo. En las áreas contaminadas, aumenta el nivel de residuos en los alimentos y bebidas, así como su contenido en suelo y ambientes interiores.²⁰

El transporte y la distribución de plomo en el Ambiente aún necesitan de investigación. El ambiente en general es fundamentalmente contaminado por las actividades antropogénicas.²¹

Aire: El aire representa para un habitante urbano en promedio un aporte de 6 a 9 μg de plomo diario a su organismo. En lugares remotos las concentraciones mínimas de plomo en aire encontradas son del orden 0.0001 μg por metro cúbico.

Agua: El agua en áreas no contaminadas presenta naturalmente concentraciones bajas de plomo de 1 $\mu\text{g}/\text{l}$. Las concentraciones de plomo en agua potable han variado mucho de 3.7 hasta 139 $\mu\text{g}/\text{l}$ sobrepasando en ocasiones el límite de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ establecido por la O.M.S. para agua potable. Las aguas blandas y ácidas disuelven más plomo que las aguas duras.

Suelo: En zonas alejadas de la actividad humana o minera, la concentración media de plomo que es de 15 $\mu\text{g}/\text{g}$.

²⁰Casa Varian. Informe Técnico de Métodos Analíticos. 1971.

²¹Smith, F. L. "Lead Exposure and Child Development" Published for the Commission of the European Communities and the U.S.A. Environmental Protection Agency. Brussels - Luxemburg; EPA, USA. 1989.

Alimentos: Las determinaciones en algunos países demostraron que el aporte de plomo puede variar según el tipo de producto: en condimentos de 1.5 mg/kg. en cereales y legumbres de hasta 1.3 mg/kg. Un promedio general estimado es del orden de 200 µg/día para adultos.

Tabaco: Cada cigarrillo puede contener de 2 hasta 12 µg. de plomo. Gran parte de esto se elimina con la combustión, pero se inhala un 2%. lo que equivale a una absorción diaria de 1 a 5 µg de plomo por el organismo, fumando 20 cigarrillos por día.

2.2 CONCEPTOS DE FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación es el nombre dado a un conjunto de tecnologías las cuales usan plantas para limpiar sitios contaminados. El termino de fitorremediación (Phyto = planta y remediation = corrección, remediación) es relativamente nuevo y es conocido como tal en 1991.²²

Puede aplicarse eficientemente para tratar suelos contaminados con compuestos orgánicos como benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos; solventes clorados; HAP; desechos de nitrotolueno; agroquímicos clorados y organofosforados; además de compuestos inorgánicos como Cd, Cr (VI), Co, Cu, Pb, Ni, Se y Zn.²³

Una de las técnicas biológicas que más atención ha recibido es la fitorremediación que tiene como objetivo degradar, asimilar, metabolizar o desintoxicar metales pesados, 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.²⁴

²²EPA. Introduction to phytoremediation. National Risk management research laboratory. <http://www.aehs.comjournals/phytoremediation>. Washington, D. C. 2000.

²³Seller, k., y colaboradores. Review of soil mound technologies for the bioremediation of hydrocarbon contaminate soil. En: Hydrocarbon contaminate soil, vol. 3. Lewis publishers. 1993.

²⁴Harvey P. y colaboradores. Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenols. pp. 29-47. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 9, 2002

La fitorremediación consiste en el uso de plantas, sus microorganismos o enzimas asociadas, así como de la aplicación de técnicas agronómicas, para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar el contaminante.²⁵

Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación, la fitorremediación ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable, útil para remediar simultáneamente una gran variedad de contaminantes,²⁶ y que procura una mejora de la calidad del suelo, ya que aumenta el contenido de carbono orgánico, mejora su estructura, incrementa la porosidad, la infiltración del agua y reduce la erosión.²⁷

La capacidad de las especies vegetales para la fitorremediación presenta diferencias marcadas,²⁸ ya que la capacidad de una planta para estimular la degradación de contaminantes en la rizosfera depende en gran medida de la especie vegetal, la edad y el vigor de las raíces.²⁹

²⁵Cunningham S. y colaboradores. Phytoremediation of contaminated soil and water. pp. 2-17. Am. Chem. Soc, Washington D.C. 1997.

²⁶USEPA. Guía del cuidado: Medidas fitocorrectivas. Office of solid waste and Emergency response. United state environmental pollution agency. Washington, D.C. 1996.

²⁷Pivetz, B. E. Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites. Office of solid waste and Emergency response. United-states Environmental pollution Agency, USEPA Washington, D. C. 2001.

²⁸Shann R., J. and J. J. Boyle. Influence of plant species on In situ rhizosphere degradation. In: ACS Symposium series 563. 1994.

²⁹Walton B. y colaboradores. Rhizosphere microbial communities as a plant defense against toxic substances in soils. ACS Symposium Am. Chem. Soc. Series 563, Washington, DC. 1994.

Los metales que tienen el mayor potencial de causar enfermedades son aquellos que se bioacumulan en el cuerpo, aunque las concentraciones excesivas de metales pueden ocurrir en agua, aire o tierra como resultado de depósitos naturales y el uso tecnológico de estos materiales no biodegradables puede conducir a su acumulación en el ambiente.³⁰

De acuerdo a Kabatas-Pendias el nivel más frecuente de cadmio en los suelos está en el rango de 0,07 a 1,00 $\mu\text{g.g}^{-1}$ siendo los contenidos superiores a 0,5 $\mu\text{g.g}^{-1}$ indicadores de influencia del hombre en los horizontes superficiales.³¹

La aplicación de la fitorremediación tiene limitaciones: la profundidad de penetración de las raíces; la fitotoxicidad en áreas fuertemente contaminadas; los tiempos de proceso pueden ser muy prolongados, con respecto a las demás técnicas de remediación y la biodisponibilidad de los compuestos que siempre limita la captación. Para superar estas limitaciones es indispensable comprender (I) los mecanismos, (II) las fases que participan en la fitorremediación y (III) las interacciones planta microorganismo.³²

2.3 MECANISMOS Y FASES DE FITORREMEDIACIÓN

La desintoxicación de contaminantes por fitorremediación se realiza empleando al menos uno de los siguientes mecanismos: fitoextracción, rizofiltración, fitoestimulación, fitoestabilización, fitovolatilización y fitodegradación.³³

³⁰Vega, S. 2000. Evaluación Epidemiológica de Riesgos causados por Agentes Químicos Ambientales. Centro Panamericana de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana la Salud, OMS.

³¹Kabata-Pendias y Pendias. Trace elements in soils and plants. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida. 1984.

³²Cunningham S. y colaboradores. Phytoremediation of contaminated soil and water. pp. 2-17. Am. Chem. Soc. Washington D. C. 1997.

³³Ibidem. USEPA Washington, D. C. 2001.

La fitoextracción o fitoacumulación consiste en la absorción de contaminantes por las raíces; es la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje. Este mecanismo ha sido ampliamente estudiado en plantas que acumulan metales³⁴ y recientemente con materiales radioactivos en acuíferos.³⁵

La rizofiltración se basa en la utilización de plantas crecidas en cultivos hidropónicos, se prefieren raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar contaminantes.

En la fitoestimulación o rizodegradación las plantas generan exudados radiculares que estimulan el crecimiento de los microorganismos nativos capaces de degradar compuestos orgánicos xenobióticos.³⁶

La fitoestabilización es un mecanismo que utiliza a la planta para desarrollar un sistema denso de raíces que le permite reducir la biodisponibilidad y la movilidad de los contaminantes evitando el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera.³⁷

³⁴Jian, Wei W., y colaboradores. Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. Pp. 800-805. Vol. 31. Environ. Sci. Technol. 1997.

³⁵Dushenkov S. Trends in phytoremediation of radionuclides, Plant and Soil. pp. 167– 175. 2003.

³⁶Joner E. y C. Leyval. Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza. pp. 2371-2375. Vol. 37. Environ. Sci. Technol. 2003.

³⁷Dec J. y J. Bollang. Use of plant material for the decontamination of water polluted with phenols. pp.1132-1139. Vol. 44. Biotechnol. Bioeng. 1994.

La fitodegradación consiste en la transformación de los contaminantes orgánicos en moléculas más simples. En determinadas ocasiones, los productos de la degradación le sirven a la planta para acelerar su crecimiento, en otros casos los contaminantes son biotransformados. Por ejemplo Marjories, Newman y Kassel encontraron que el álamo fitodegradó moléculas como el éter metil terbutílico y el tricloroetileno presentes en acuíferos.^{38, 39 y 40}

La fitovolatilización se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera.⁴¹

Se ha observado que los niveles de contaminantes se reducen más rápidamente en suelos con plantas. Por ejemplo April y Sims demostraron que la biodegradación de varios contaminantes se intensificó debido al crecimiento de pastos en los suelos contaminados con hidrocarburos.

Una planta fitorremediadora realiza cualquiera de los mecanismos anteriores siguiendo tres fases: Absorción, excreción y desintoxicación de contaminantes.

³⁸Marjories S. y colaboradores. Phytoremediation of MTBE from a Grounwater plume. pp. 1231-1233. Vol. 35 Environ. Sci. Technol. 2001.

³⁹Newman L., y colaboradores. Remediation of trichloroethylene in an artificial aquifer with trees: A controlled field study. pp. 2257-2265. Vol. 33 Environ. Sci. Technol, 1999.

⁴⁰Kassel G., y colaboradores. Phytoremediation of trichloroethylene using hybrid poplar. pp. 3-10. Vol. 8 Physiol. Mol. Biol. Plants. 2002.

⁴¹Núñez L., y colaboradores. Fitorremediación fundamentos y aplicaciones. pp. 69-82. Ciencia 2004.

⁴²April W. y R. Sims. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil. pp. 253-265 Chemosphere. 1990

La absorción de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas mediante los estomas y la cutícula de la epidermis.⁴³ Esta absorción ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por ósmosis dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo. Otros factores importantes que inciden en la penetración del contaminante son su peso molecular e hidrofobicidad que determinan que estas moléculas atraviesen las membranas celulares de la planta. Después de cruzar la membrana, los contaminantes son distribuidos a través de toda la planta.⁴⁴

Los contaminantes que se absorben por las raíces, se excretan vía hojas (fitovolatilización). Cuando las concentraciones de los contaminantes son elevadas, solo pequeñas fracciones (menos del 5 %) se excretan sin cambios en su estructura química. La desintoxicación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo por la vía de la mineralización hasta dióxido de carbono.

⁴³Watt M. y J. Evans. Proteoid roots physiology and development. *Plant Physiol.* pp. 317-323. Vol. 121. 1999.

⁴⁴Ibidem. pp. 29-47. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 9, 2002.

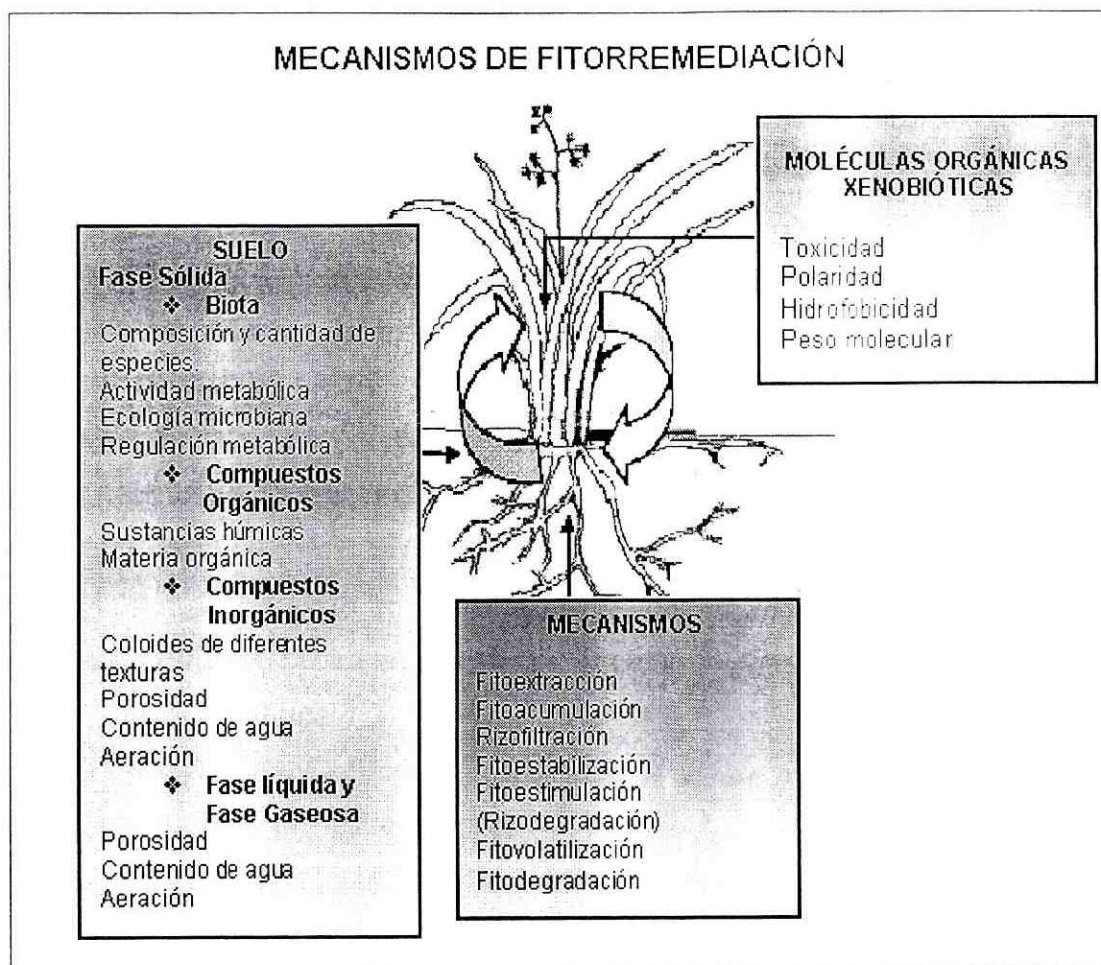


Figura 1. Modelo conceptual de las interacciones de suelo, planta (mecanismos) y microorganismos para la biodegradación de las moléculas orgánicas xenobióticas.⁴⁵

En el modelo, la planta inicia la desintoxicación con la absorción de los contaminantes a través de las raíces, dependiendo de la especie, la edad de la planta y la composición de los microorganismos de la rizósfera, esta absorción responde a diferentes factores tales como la temperatura, el pH del ambiente nutricional y el tipo de suelo. Otros factores que también influyen en la absorción de los contaminantes dependen de la naturaleza de los compuestos orgánicos xenobióticos (el peso molecular y la hidrofobicidad de las moléculas).⁴⁶

⁴⁵Crowley E., y colaboradores. Rhizosphere ecology of xenobiotic-degrading microorganisms. En *Phytoremediation of soil and water contamination*. pp. 306. Capítulo 2, 1997.

⁴⁶Anderson T., y colaboradores. Bioremediation in the rhizosphere. pp. 2630-2636. *Environ. Sci. Technol.*

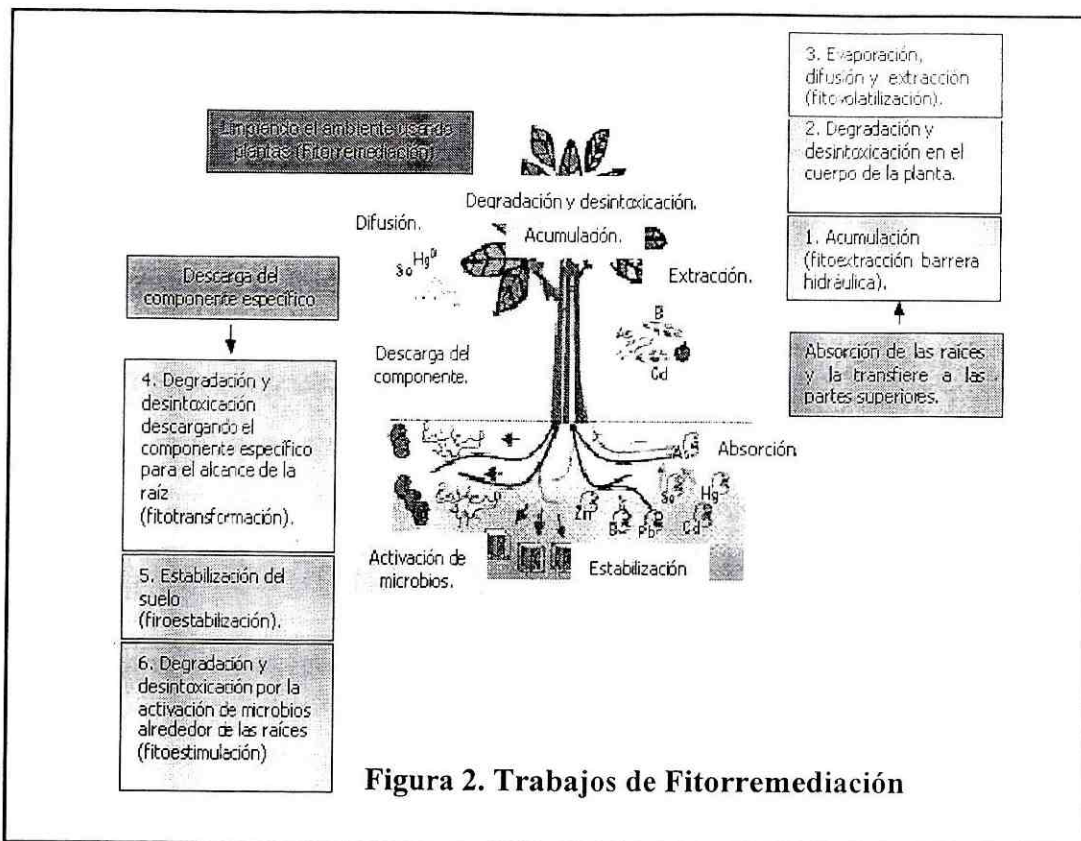
2.4 INTERACCIONES PLANTA - MICROORGANISMO EN SUELOS CONTAMINADOS.

La comunidad de la rizósfera está constituida por una microbiota (bacterias, hongos y algas) y por la microfauna y la mesofauna (protozoos, nematodos, insectos y ácaros). La microfauna y la mesofauna, contribuyen significativamente, en procesos de descomposición con el catabolismo de sustancias nocivas en la rizósfera, esta provee un microambiente complejo y dinámico, donde las bacterias y hongos en asociación con las raíces, forman comunidades únicas que responden a exudados radiculares. Estas asociaciones pueden causar un beneficio o una enfermedad a la planta y tienen considerable potencial para la desintoxicación. Entre las interacciones benéficas destacan las que sostienen las plantas con bacterias que sintetizan factores de crecimiento útiles para la planta, como las hormonas, las simbiosis con fijadoras de N₂ y las establecidas con hongos.⁴⁷

Un caso particular muy importante es el que se refiere a la micorriza, que es la interacción mutualista entre plantas y hongos. Esta interacción facilita la absorción de nutrimentos en la raíz al aumentar el volumen de absorción de la planta. Las dimensiones físicas y la actividad microbiana en la rizósfera dependen de factores específicos del sitio y de la planta, como por ejemplo los referidos a las especies, edad, vigor de las plantas y el tipo de suelo. En la figura 1 se muestra un modelo conceptual de las interacciones que existen entre el suelo, la planta (los mecanismos de fitorremediación) y los microorganismos para la biodegradación de las moléculas orgánicas xenobióticas.

La fitorremediación es un método que remedia ambientes contaminados con sustancias riesgosas, utiliza las capacidades innatas de las plantas. Está compuesto de cuatro funciones: (1) absorber y acumular la sustancia riesgosa, (2) degenerándola y desintoxicándola, (3) estabilizándola el compuesto alrededor de las raíces, y (4) activando a microbios alrededor de las raíces para degradarlo (Figura 2).

⁴⁷Ibidem. Series 563, ACS Symposium Am. Chem. Soc. Washington, D. C. 1994



2.5 EFECTO DEL CADMIO A LA SALUD

De acuerdo a Cruces-valiente una vez que se ha ingerido algún alimento contaminado con cadmio, el metal se acumula en los riñones donde su vida media de permanencia es de 18 a 30 años, lo que demuestra la gran dificultad que involucra la eliminación del Cd por el organismo. Cuando la concentración del Cd en los riñones es superior a 20 ug.g-1 los órganos sufren daños irreversibles.⁴⁸

En los últimos años, la presencia de Cadmio en los suelos y el riesgo de ingreso de este elemento a la cadena alimenticia, ha generado mundialmente una preocupación creciente, debido al efecto tóxico de este elemento en humanos y animales.⁴⁹

⁴⁸Cruces -Valiente, E., M. Cadmium binding capacity of cocoa and isolated total dietary fiber under physiological pH conditions. pp. 476-482. Vol. 72. J. Food. Sci. Agric. 1966.

⁴⁹McLaughlin, M. J. y B. R. Singh, B. Cadmium in soils and plants: a global perspective. pp. 1-19. McLAUGHLIN, M. J.; SINGH, B. R. (Ed.). 1999.

El Cadmio una vez consumido, puede acumularse en el riñón y en el hígado, puede alterar el sistema óseo, produciendo una enfermedad denominada Itai-Itai que fue detectada por la primera vez en Japón.⁵⁰

El Cadmio puede ser absorbido por las plantas como Cd^{2+} y se encuentra en mayor cantidad en aquellas hortalizas como lechuga, espinacas y apio, que finalmente son consumidas por el hombre.⁵¹

2.6 FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR CADMIO

En suelos agrícolas, las principales fuentes de Cadmio provienen de la fertilización fosforada, uso de lodos y residuos industriales.⁵²

El cadmio se encuentra en el ambiente de lugares de trabajo que manipulen baterías, soldaduras, pigmentos, etc; en aguas contaminadas; en lugares cercanos a centrales térmicas y quemaderos de basuras y particularmente en el tabaco, la cantidad de cadmio absorbido con el humo del tabaco puede ser equivalente a la ingerida en la dieta, hasta unos 10 gr/día .

Investigaciones realizadas en Chile señalan que la incorporación de Cd a los suelos se debe principalmente a la actividad mineral e industrial, encontrándose este elemento en mayor cantidad en áreas industrializadas.⁵³

⁵⁰Gupta, U. y S. C. Gupta, Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, pp. 1491-1522. New York, 1998.

⁵¹Ibidem, pp. 1-19. McLAUGHLIN, M. J.; SINGH, B. R. (Ed.) 1999.

⁵²Alloway, B. J. Heavy metals in soils. pp. 339. New York: J. Wiley. USA. 1990.

⁵³González, S. y R. Ite. Acumulación metálica en suelos del área bajo influencia de las chimeneas industriales de Ventanas (Provincia Valparaíso, V Región). pp. 214-219. Vol. 50, No. 2. *Agricultura Técnica*, Santiago, 1992.

2.7 COMPORTAMIENTO DEL CADMIO EN EL SUELO

El comportamiento del Cadmio incorporado al suelo está en función del tipo de reacción química y en los diversos procesos físicos y biológicos que ocurren en el suelo. Las principales reacciones involucradas en las interacciones entre los metales y los componentes del suelo son las de adsorción, precipitación y formación de complejos.^{54 y 55}

Cuando se deposita en el suelo se puede tener de diversas concentraciones, dependiendo de varios factores tales como la composición de él y de los compuestos que el hombre usa para la agricultura; de la contaminación que exista en la naturaleza. Por ejemplo se ha observado que si el suelo es de tipo ácido se lleva a cabo un intercambio de iones, con la cual se convierte en un elemento que le toman las plantas fácilmente y de allí sigue la ruta de la cadena alimenticia hasta llegar a los seres humanos. Se han encontrado concentraciones de Cadmio en el suelo menores de 1 mg/L y se decía que no subía de ese nivel, pero ultimadamente se descubrió en Japón, donde se tienen grandes plantaciones de arroz que es un elemento básico de la dieta de ese país hay de 1 hasta 69 mg/L.⁵⁶

Con relación a los fertilizantes fosforados, la principal materia prima de éstos es la roca fosfórica, constituida principalmente por apatita, que además de P, contiene Cd en cantidades que varían entre 8 y 500 mg Kg⁻¹.⁵⁷

⁵⁴Ahumada, I. y E. Schalscha. Efecto de la sorción de cadmio y cobre en suelos. pp. 101-110. Vol. 39. Agrochimica, Pisa. 1995.

⁵⁵Helmke, P. A. Chemistry of cadmium in soil solution. pp. 36-64. Mclaughlin, M. J.; Singh, B. R. Dordrecht: Kluwer Academic. 1999.

⁵⁶Serrano, E. L. El agua. Las aguas residuales y su tratamiento. Pág. 65-69. ERCA, S. A de C. V. México. 1997.

⁵⁷Laegreid, M. O. y colaboradores. Agriculture fertilizers and environment. pp. 294. Wallingford: CAB, 1999.

Por ejemplo, en Chile se ha determinado que la roca fosfórica de Bahía Inglesa contiene alrededor de 6 mg kg^{-1} de Cd.⁵⁸ Investigaciones recientes indican que los contenidos de Cd en fertilizantes comercializados en Brasil varían entre 0,6 y $3,5 \text{ mg kg}^{-1}$.^{59 y 60}

En suelos incubados con Cadmio,⁶¹ encontró que éste se mantiene en solución a través del tiempo, lo que conserva su efecto tóxico. Señalan que la disponibilidad y movilidad del Cadmio en el suelo dependen del pH, humedad, materia orgánica, tipo y cantidad de arcilla, además de la cantidad y número de años de aplicación de fertilizantes fosforados.

Los países de la Organización para el Desarrollo y Cooperación Económica (OECD) también han propuesto niveles de tolerancia en el contenido de Cadmio por kg de fósforo que aportan, siendo menor de 50 mg kg^{-1} de fósforo para Suiza y Finlandia, menor de 100 mg kg^{-1} de fósforo para Noruega y Suecia, menor de 210 mg kg^{-1} de fósforo en el caso de Bélgica y Alemania y hasta 340 mg kg^{-1} de fósforo en el caso de Japón y Australia.⁶²

⁵⁸Valenzuela, A. Determinación de cadmio en fertilizantes fosforados y su efecto en cuatro tipos de suelos de Chile. 80 f. Tesis (Magister en Ciencias Agropecuarias)-Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. 2001.

⁵⁹Gabe, U. y A. Rodella, Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. pp. 605-620. Vol. 30. New York. 1999.

⁶⁰Prochnow, L. I. y colaboradores. Bioavailability of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brazilian raw materials. pp. 283-294. Vol. 32. New York, 2001.

⁶¹Barrow, N. J. Effects of time and temperature on the sorption of cadmium, zinc, cobalt and nickel by an soil. pp. 941-950. Vol. 38. Austr J. Soil Res, Melbourne, 1998.

⁶²Ibidem. Pp. 294. Wallingford: CAB, 1999.

2.8 EFECTO DEL CADMIO EN LAS PLANTAS

El Cadmio en algunas plantas produce ciertos efectos como disminución de la cantidad de clorofila y se marchitan, llegando al caso de matarlas. Como es un elemento persistente y en general las plantas no le pueden eliminar, se quedan en sus estructuras, principalmente en la raíz en donde se concentra más y se ha encontrado que algunas especies como el arroz y el trigo lo absorben en gran cantidad de los suelos contaminados. Cuando ataca a las plantas que lo absorben, les afecta en su desarrollo produciendo una especie de anemia en ellas, pues no permite que el bióxido de carbono se les fije y consecuentemente la fotosíntesis va disminuyendo.⁶³

2.9 EFECTO DEL pH EN EL SUELO

Numerosos estudios han demostrado que la mayoría de hiper-acumuladores toma más metal en pH bajo debido a la solubilidad realizada.⁶⁴ La reducción del pH está por eso considerado como un componente crítico para la mayoría de las tecnologías de fitorremediación.

Sin embargo, el pH bajo en presencia de contenido de metal alto puede ocasionar ecotoxicidad. Los numerosos estudios han demostrado que los metales pueden ser tóxicos para la mayoría de las plantas cuando el pH del suelo se reduce a 6.0.⁶⁵ Más allá, muchas bacterias del suelo y otros organismos son sensibles para las concentraciones altas de metal que también son afectadas bajando el pH de suelos de metales altos.

⁶³Ibidem. Pp. 65-69. ERCA, S. A de C. V. México. 1997.

⁶⁴Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. New York, NY: Academic Press. USA. 1995.

⁶⁵Chaney, R. L., y colaboradores. Rice plant nutritional and human nutritional characteristics: roles in human toxicity. In Inter. Plant Nutrition Colloquium, ed. W. J. Horst Proc., Hanover, Germany. 2001.

2.10 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE *Larrea tridentata* CAV.

Reino: Plantae

Subdivisión: Tracheobionta

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Sapindales

Familia: Zygophyllaceae

Genero: *Larrea*

Especie: *tridentata* CAV.

2.11 DESCRIPCIÓN *Larrea tridentata*. Cavanilles (1893).

De acuerdo con Jerzy Rzedowski la gobernadora (*Larrea tridentata*) es la planta mexicana mejor adaptada a condiciones de aridez, ya que puede vivir en las condiciones más extremas que se presentan en México, sin ser una planta suculenta, ni presentar espinas, ni tomento y además ser perennifolia. En Inglés se le conoce como "creosote bush" por el característico olor que despidе después de la lluvia; en español por esta misma característica en algunos lugares recibe el nombre de "hediondilla". Otro nombre en español "gobernadora" responde a la característica que posee de ser una planta dominante en el desierto. Parece ser un indicador natural de un amplio proceso de desertificación. La gobernadora fue un recurso comercial de la nordihidroguayarina (NDGA) por más de 20 años. Posteriormente se desarrolló un recurso sintético que reemplazó al natural.

Nombres comunes en México. Gobernadora (estados del Norte); Guamis, Hediondilla, Huamis, Háaxat, Háajat.⁶⁶

⁶⁶Martínez, M. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. México, D. F. Fondo de cultura económica. 1979.

Sinonimia. *Covillea divaricata* (Cav.) Vail; *Covillea glutinosa* (Engelm in Wislitz) Rydb.; *Covillea tridentata* (DC.) Vail; *Guaiacum mexicanum* (Moric.) Baill. ; *Larrea divaricata* subsp. *tridentata* (Moç. & Seseé ex DC.) Felger & Lowe ; *Larrea divaricata* subsp. *tridentata* (Ses. et Moc ex DC.) Felger & Lowe; *Larrea glutinosa* Engelm in Wislitz ; *Larrea mexicana* Moric. ; *Larrea tridentata* var. *glutinosa* Jeps. ; *Neoschroetera glutinosa* (Engelm in Wislitz) Briq. ; *Neoschroetera tridentata* (Ses. et Moc ex DC.) Briq.; *Schroeterella glutinosa* (Engelm in Wislitz) Briq.; *Schroeterella tridentata* (Ses. et Moc ex DC.) Briq. ; *Zygophyllum tridentatum* Moç. & Seseé ex DC.

Forma. Arbusto muy ramificado, perennifolio, de 0.6 a 3 m de altura.

Copa / Hojas. Hojas formadas por 2 folíolos unidos entre sí en la base. Los folíolos oblicuamente ovados a lanceolados o falcados, divaricados, de 4 a 15 mm de largo por 3 a 8 mm de ancho, enteros, coriáceos, resinosos, de olor penetrante, verde o verde amarillentos. La copa tiene un volumen promedio de 0.124 m^3 x arbusto.

Tronco / Ramas. Arbusto erecto ramificado desde la base (Simpodial)

Flor(es). Flores solitarias de 2.5 cm de diámetro, sépalos elípticos de 6 mm de largo por 4 mm de ancho, pubescentes, caedizos; pétalos de color amarillo fuerte, oblongos a lanceolados, de 1 cm de largo por 3 a 5 mm de ancho, caedizos. (Hermafroditas, monoicos).

Fruto(s). Fruto subgloboso a obovoide, de 7 mm de largo, coriáceo, con pelos blancos, sedosos, que se vuelven café-rojizos con el tiempo, 5 mericarpios con una semilla cada uno. Es un esquizocarpio.

Semilla(s). Semillas cafés a negras, algo curvadas, de 2 a 4 mm de largo. Con contornos triangulares, en forma de "boomerang". Embrión con los cotiledones paralelos al plano longitudinal.

Raíz. Sistema radical superficial, poco profundo y muy extenso. Llega a ocupar casi el total del espacio que hay entre un arbusto y otro.

Número cromosómico. $2n = 26, 52, 78$. $2n$ (diploide) = 26 (en Chihuahua), $2n$ (tetraploide) = 52 (en Sonora), $2n$ (hexaploide) = 78 (Mojave.0).

2.11.1 DISTRIBUCIÓN.

Se distribuye abundantemente en el norte de país, de la Península de Baja California a Tamaulipas e Hidalgo.

Estados. Baja California, Baja California sur, Coahuila, Chihuahua, Durango. Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro. San Luis Potosí, Sinaloa. Sonora, Tamaulipas y Zacatecas.

2.11.2 HÁBITAT

Crece en los sitios más secos de México, en terrenos planos, laderas, lomeríos bajos (originados de materiales geológicos del cretácico superior e inferior) y en planicies aluviales. Se desarrolla en lugares con temperaturas de 14 a 28 °C y presencia de 8 meses de sequía, en climas áridos (BS) y muy áridos (BW) y en precipitaciones de 150 a 500 mm anuales. No prospera en zonas de clima isoterma. Los suelos en los que se desarrolla son de profundidad variable, textura franco arenosa, estructura granular, drenaje interno medio de consistencia friable, de color café grisáceo, compacto arcilloso, calcáreo, blanco-arenoso, aluvial con pH de 6.8 a 7.6.

2.11.3 VEGETACIÓN Y ZONA ECOLÓGICA.

Tipos de Vegetación.

Bosque espinoso (perennifolio).

Bosque tropical caducifolio.

Matorral xerófilo (matorral subdesértico micrófilo, matorral inerme).

Vegetación asociada. *Juniperus* sp., *Acacia* sp., *Yucca* sp., *Larrea* sp., *Pachycereus* sp., *Prosopis* sp., *Bursera microphylla*, *Agave* sp., *Carnegieia gigantea*, *Jatropha* sp., *Berberis* sp., *Parthenium* sp., *Cercidium floridium*, *Fouquieria splendens*, *Opuntia* sp.

Zona(s) ecológica(s). Árida y semiárida.

2.11.4 FENOLOGÍA.

Follaje. Perennifolio.

Floración. Florece durante todo el año pero es más frecuente entre febrero y abril. *Larrea* es capaz de producir múltiples fases reproductivas durante una misma estación de crecimiento.

Fructificación. Fructifica de marzo a abril y noviembre a diciembre en Estados Unidos. Dependiendo del agua disponible.

2.11.5 ASPECTOS FISIOLÓGICOS.

Adaptación: Excelente adaptabilidad. Planta muy vigorosa, adaptada para sobrevivir en el desierto. Tiene capacidad para un intercambio positivo de CO₂, puede mantener un balance neto positivo de CO₂ a lo largo del año, aún a temperaturas extremas (> 43 °C) y estrés de agua (< -83 bares). Posee gran habilidad para mantener actividad fotosintética neta, aún a potenciales de presión de agua muy bajos. Su adaptación a tales ambientes (áridos y calientes) es debida a su alto nivel de tolerancia protoplásmica a la desecación y a las altas temperaturas.

Competencia. Es una planta prolífica y territorialista. Tiene un efecto neto en el desplazamiento de otras especies, impidiendo de esta manera la diversificación de la flora en el lugar donde se desarrolla. Bajo condiciones de humedad favorables y mediante mecanismos que se desconocen, inhibe el crecimiento de la vegetación que se desarrolla a su alrededor en la superficie.

Posee un gran número de compuestos químicos en sus hojas, aparentemente como una estrategia anti-herbívoros. En sitios en donde el mezquite ha reemplazado a los pastos, la gobernadora puede reemplazar al mezquite al cabo de 70 a 80 años.

Crecimiento. La máxima tasa de crecimiento se obtiene cuando el agua es más abundante. Una característica muy importante es que no tiene períodos de latencia en su crecimiento y por ello puede responder a los cambios ambientales. La energía producida por la fotosíntesis, cuando hay humedad disponible se dedica a las estructuras reproductivas. El crecimiento de las partes reproductivas (yemas florales, flores y frutos) se inicia si las condiciones de humedad son adecuadas. El crecimiento vegetativo se detiene o es más lento cuando el crecimiento reproductivo está en su máximo. Es muy sensible a la cantidad de humedad disponible para su crecimiento vegetativo y reproductivo.

Establecimiento. Las plántulas tienen una baja sobrevivencia. Al parecer los hongos desempeñan un papel muy importante en el establecimiento de plántulas debido a la formación de micorrizas. En condiciones naturales se calcula que de cada 100 mericarpios solo es posible esperar 20 plántulas a los 6 meses después de germinadas y en condiciones cercanas al óptimo.

2.11.6 SEMILLA.

Las semillas secas se pueden almacenar a temperatura ambiente por 2, 4 y en ocasiones hasta 7 años, declinando ligeramente su viabilidad. La germinación significativa ocurre al quinto día. La germinación en el laboratorio es alta y rápida mientras que en el invernadero es lenta y errática. El porcentaje de germinación es de 55 a 93 % en un rango de temperatura de 10 a 60°C. El número de semillas por kilogramo son aproximadamente de 370,000, se recolectan los frutos directamente de la planta y se fumigan para prevenir el ataque por insectos y el tratamiento pregerminativo es por escarificación mecánica (lija) y remoción del pericarpio.

2.11.7 EXPERIENCIAS CON LA PLANTA.

Plantación Comercial, Productiva y Experimental. Se han establecido policultivos comerciales en USA, para producir aceites, polifenoles solubles, hule, guta, forraje, fibra para papel, glucosa, xilosa, alcohol combustible, metano y suplementos alimenticios de alta proteína. Entre las especies que figuran en el policultivo están: *Larrea tridentata* y *Parthenium argentatum*.

Aspectos del cultivo: En forma natural crece en forma separada y con sus ramas abiertas, pero en cultivo su follaje es más denso y crece mejor si se riega ocasionalmente en el verano y se fertiliza en primavera soporta bien la poda de formación.

2.11.8 PROPAGACIÓN.

Reproducción sexual:

Regeneración natural.

Semilla.

2.11.9 SERVICIO AL AMBIENTE.

Efecto(s) restaurador(es). Conservación del suelo / Control de la erosión.

Servicio(s). 1. Se utiliza en la delimitación de linderos, como barrera o barda.

2.11.10 TOLERANCIAS.

1. Suelos con buen drenaje.
2. Las raíces requieren altas concentraciones de oxígeno para su desarrollo.
3. Sequía. Logra captar buena cantidad de agua aún en pequeños eventos de precipitación, por lo que puede mantener una fotosíntesis neta en suelos secos. Suelos arenosos y Suelos calizos y bajos en fósforo.
4. Diferentes superficies geomorfológicas y diferentes regímenes de temperatura y precipitación.
5. Tierras degradadas del desierto.

Intolerante a:

1. Suelos compactados. El tiempo de vida de la especie está negativamente correlacionado con la perturbación y la compactación del suelo.
2. Suelos con alto contenido de fósforo.

Sensible / Susceptible a:

1. Suelos alcalinos. El crecimiento de las raíces decrece en suelos con pH por arriba de 8.

Desventaja.

Tendencia a adquirir propagación malezoide invasora. Una vez que se establece es muy difícil reducir su densidad. No tiene fuertes enemigos naturales que la controlen.

2.11.11 USOS.

Adhesivo (hoja).

Pegamento para triplay y cartón comprimido. (Calzado), aceites, lubricantes, barnices como desincrustante de materias salinas en calderas, productos farmacéuticos, hule.

Comestible (fruto).

Los frutos son utilizados como sustitutos de las alcaparras. *La Food and Drug Administration* encontró que la sustancia usada como antioxidante para las grasas naturales, produce quistes en los niños, por lo que la excluyo de su lista.

Condimento (Especias) [flor].

El botón de la flor se emplea como condimento.

Forrajero (hoja). Las hojas son importantes por su contenido de proteínas, lo que permite utilizarlas para consumo animal. Se requiere de la eliminación previa de las resinas para incrementar su digestibilidad y palatabilidad.

Industrializable [exudado (látex), exudado (resina)].

Para teñir cuero. Extracción de fenoles que sirven de base para fabricar pinturas, plásticos. La resina que se extrae de las hojas contiene ácido nordihidroguayarético, que se utiliza como antioxidante en la industria alimenticia, en la elaboración de grasas (calzado), aceites, lubricantes, barnices como desincrustante de materias salinas en calderas, productos farmacéuticos, hule.

Insecticida / tóxica [exudado (resina), toda la planta].

Las resinas muestran actividad funguicida contra *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium* spp. y otros hongos fitopatógenos. Actividad insecticida contra: gorgojo pardo del frijol (*Acanthoscelides obtectus*, Coleoptera: Bruchidae); barrenador mayor de los granos (*Prostephanus truncatus*, Coleoptera: Bostrichidae).

Medicinal (hoja).

Esta planta recibe un amplio uso en el norte del país, en afecciones de las vías urinarias como los cálculos renales y para deshacerlos, se recomienda tomar como agua de uso la cocción de toda la planta o las ramas. Para otros malestares como dolor de riñón e inflamación de vejiga, se utilizan las ramas, raíz o corteza en cocimiento, ingeridas en ayunas. En problemas ginecológicos como esterilidad femenina se sugieren lavados vaginales con el cocimiento de las hojas; también se emplea la raíz, ramas o corteza para el postparto y para regularizar la menstruación. La misma infusión es usada en baños para hemorroides, fiebre, paludismo, granos, golpes, buena cicatrización y reumatismo. La infusión de las hojas se usa como remedio para reuma, cálculos de vesícula y renales, dermatitis, hepatitis y como antiséptico. Se le atribuyen propiedades y acciones contra malestares gástricos, enfermedades venéreas y tuberculosis. Se utiliza como tratamiento para micosis. Posee actividad antiamibiana.

Saponífera [exudado (resina)].

Elaboración de jabones. Las resinas sirven para la elaboración de jabones y la fabricación de grasas para calzado.

2.12 COMPORTAMIENTO DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO

La distribución de metales pesados en los perfiles de suelos, así como su disponibilidad, está controlada por parámetros como las propiedades intrínsecas del metal y las características de los suelos.⁶⁷

La cantidad y calidad de los sitios de adsorción, la concentración y tipo de complejos orgánicos e inorgánicos, la composición catiónica y aniónica del suelo, conductividad hidráulica y actividad microbiana. son factores que afectan el comportamiento de los metales.⁶⁸

Los metales que se asimilan en el suelo se van eliminando lentamente por diferentes procesos como el lavado, absorción por las plantas, erosión, etc. La vida media de los metales en condiciones de lixiviación varía según el elemento:

Zn	-	70	-----	510	años.
Cd	-	13	-----	1100	años.
Cu	-	310	-----	1500	años.
Pb	-	740	-----	5900	años.

Aunque los aportes a la biosfera no sean muy elevados, en los suelos se va aumentando su concentración debido a su larga vida media.⁶⁸

⁶⁷Colombo, L., y colaboradores. Soil profile distribution of heavy metals in a soil amended with sewage sludge for eight years. Pp. 273-283. Agr. Med. Intern. J. of Agric. Sci. 1998.

⁶⁸Ramos, B. y colaboradores. Heavy metals, salts and sodium in chinampa soils in México Facultad de Ciencias, UNAM. Departamento de Biología, Laboratorio de Edafología. Pp. 387. Agrocienza vol. 35, número 4. 2001.

⁶⁹Alonso Martirena J. I. y colaboradores. Contenido de metales pesados en suelos forestales de Navarra. Pág. 20. Tesis doctoral. Gorosti. 2001.

2.13 EFECTOS DEL PLOMO EN LA SALUD

Demasiado plomo en el organismo humano puede causar graves daños al cerebro, riñón, sistema nervioso y glóbulos rojos.⁷⁰

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.⁷¹

El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el 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 µg/dL.⁷²

2.14 EFECTO DEL PLOMO EN LAS PLANTAS

Dado que el plomo es acumulativo, este tiene un movimiento lento dentro de las plantas, pero a altas concentraciones, las cuales pueden ser tóxicas para los cultivos, estos pueden presentar un crecimiento lento o llegan a desarrollar normalmente.⁷³

2.15 NORMATIVIDAD EN METALES PESADOS.

La normatividad señalada por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), para suelos de uso residencial y agrícola es de 400 mg/Kg de plomo.⁷⁴

⁷⁰Ibidem. <http://www.aehs.comjournals/phytoremediation>. 2000.

⁷¹ y ⁷²Ibidem. 1ª Ed. Texas Center for Policy Studies, CILADHAC, Torreón. Coah. México. 1999.

⁷³América A. L. Met-Mex Peñoles y los niños de Torreón. Consultora en Toxicología Ambiental y Evaluación de Riesgos; Xalapa, México. <http://www.sertox.com.ar/rtel/default.htm>. 2004.

⁷⁴EPA. *Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge Final Rules*. Federal Register, Part II 40 CFR Part 257. EPA. 1994.

El nivel máximo en los estados unidos para considerar que un sitio contaminado ya no lo esta (Superfund cleanup goal) es de 500 µg/g (500 partes por millón).⁷⁵

El valor limite del plomo en suelo, según la normatividad Española es de 500-300 partes por millón. 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 7.⁷⁶

La concentración de plomo en el aire, establecida como valor límite permisible para el ambiente general por la EPA (Environmental Protection Agency) es de 1.5 microgramos/m³, además considera como nivel umbral de plomo en sangre para la población general unos 15 microgramos/dL. Sin embargo, recientes estudios demuestran cambios neuropsicológicos en niños con niveles de plomo en sangre de 710 microgramos/dl, por lo que se ha establecido este valor como valor alerta que no debe ser sobrepasado para la población infantil.⁷⁷

En el caso de la población laboral, los niveles de plomo en sangre, establecidos como permisibles por la OMS en 1980, no han de ser superiores a 40 microgramos/dl. En adultos masculinos y a 30 microgramos/dl. en mujeres en edad fértil.⁷⁸

⁷⁵Al Benin, J. D. y colaboradores. "High Concentrations of Heavy Metals in Neighborhoods Near Ore Smelters in Northern Mexico", Environmental Health Perspectives. 1999.

⁷⁶"La Caxia" fundación. Reutilización de residuos urbanos en agricultura. Editorial Aedos. 1995.

⁷⁷Corey, G. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Serie Vigilancia 8. Metepec. México. 1989.

⁷⁸Martínez, Ma. Del C. "Intoxicación por plomo". En revista Salud de los Trabajadores. pp. 159-162. Vol. 2. parte 2. Maracay. Venezuela. 1994.

CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS.

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL EXPERIMENTO.

El presente trabajo se llevó a cabo en diferentes localidades de la Comarca Lagunera de Coahuila y de Gómez Palacio, Durango; la cual se presenta a una altitud de 1100 msnm y dentro de las coordenadas geográficas 25° 32' 51" de latitud norte y 103° 26' 53" de latitud oeste, con clima seco desértico con lluvias en verano, con precipitación media anual de 230 mm, temperatura media anual de 19 a 22° C según Koppen. La fase de campo se realizo durante el periodo comprendido de Marzo - Junio del año 2006.

3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO DE LA SIERRA DE LAS NOAS.

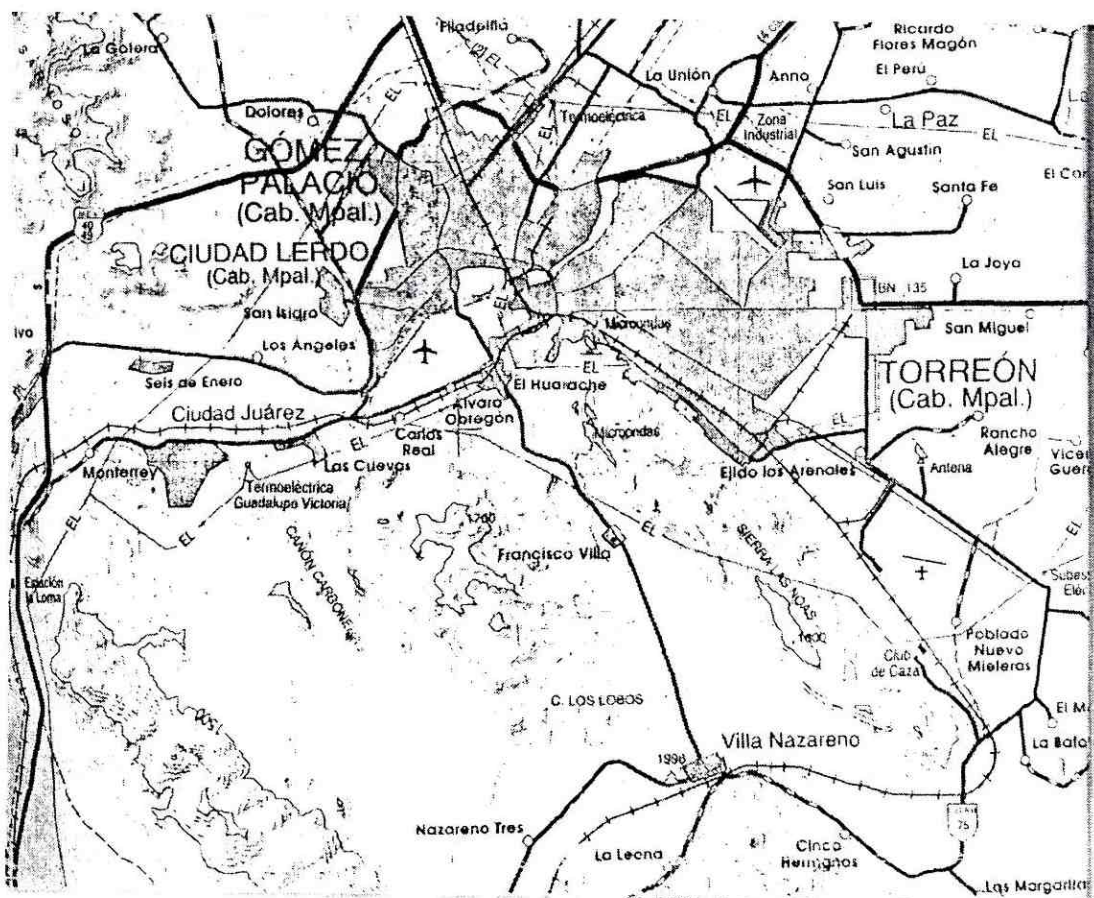


Figura 3.1 ubicación geográfica del área de estudio.

3.3 METODOLOGÍA.

1. Se determinaron cinco localizaciones completamente al azar para realizar muestreos de plantas de Gobernadora *Larrea tridentata* CAV. De los cuales cuatro sitios se ubicaron en la Sierra de las Noas de Torreón, Coahuila y un último sitio en el cerro de las Calabazas en Gómez Palacio, Durango.
2. En cada punto de muestreo se identificaron tres ejemplares de planta con características similares de altura y diámetro de 100 a 150 cm, en cada uno de los sitios correspondientes.
3. Las plantas muestreadas se lavaron con agua desionizada, y se secaron en estufa marca NAPSA modelo HDP 334 a una temperatura de 60°C con un periodo de 24 hrs. y posteriormente se realizó el análisis de metales pesados plomo y cadmio en cada una de las estructuras de la planta: raíz, tallo y hoja siguiendo el procedimiento de análisis.
4. La determinación de metales pesados en gobernadora *Larrea tridentata* CAV. Se llevó a cabo utilizando el método sugerido por el Instituto de Recursos Naturales (IRENAT)-Colegio de postgraduados, utilizando el aparato espectrofotométrico de absorción atómica como instrumento de medición analítica; se determinó cuantitativamente la concentración de Plomo y Cadmio, determinando así la distribución de los metales en las estructuras de la planta.
5. Se realizaron análisis del suelo de las cinco localidades para determinar la presencia de plomo y cadmio. Las muestras de suelo utilizadas en este estudio fueron tomadas a una profundidad entre 0-10 cm, 10- 20 cm, y 20-30 cm.
6. Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas para recoger la fracción menor de 2 mm.

7. Se analizaron el pH y conductividad eléctrica del suelo de las cinco localidades.

3.3.1 Metodología para la determinación de pH del suelo.

Para la medición de pH se utilizó un potenciómetro modelo -420 marca ORION, la lectura se llevo a cabo directamente del extracto de suelo a saturación, calibrando el aparato con soluciones buffer de pH 4 y 7.

Los valores promedio de la clasificación del suelo con respecto a su valor de pH se presenta en el cuadro 3.4

Cuadro 3.4. Clasificación del suelo con respecto a los parámetros establecidos de pH. (Henry, 1984)

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

3.3.2 Metodología para la determinación de la conductividad eléctrica del suelo.

Se tomaron 15 ml del extracto del suelo a saturación, y a través de un conductivímetro marca ORION modelo 162 se determinó la conductividad eléctrica. Previo a la medición se calibro el aparato.

Cuadro 3.5 Parámetros establecidos para conductividad eléctrica. (Henry, 1984)

CE mS cm ¹ a 25°C	EFFECTOS
< 2.0	No salino
2.0 - 4.0	Ligeramente salino
4.1- 8.0	Moderadamente salino
8.1- 16.0	Fuertemente salino
>16.0	Extremadamente salino

3.3.3 Metodología para el análisis de plomo y cadmio en el suelo.

1. Se pesaron 5 gr. de suelo de cada una de las muestras y se colocaron en un recipiente de plástico de 60 ml.
2. Posteriormente se le agregaron 50 ml. de ácido nítrico 4 molar.
3. Se pusieron de 4-12 hrs. a Baño María a una temperatura de 70° C.
4. Después de haber transcurrido el tiempo de exposición se sacaron a la temperatura ambiente y se procedió a agitar durante una hora en el agitador mecánico.
5. Posteriormente se filtraron cada una de las muestras.
6. Se tomaron 3 ml. del extracto del suelo y se diluyeron en 6 ml. de agua destilada.
7. se efectuaron las lecturas de los extractos para la determinación de plomo y cadmio en el aparato de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380.
8. El estándar de calibración del aparato de absorción atómica fue de 6 ppm de plomo 3 ml/500 y 20 ppm de plomo 10 ml/500.

Cálculos:

ppm ó mg/L. = (Lectura del Aparato de Absorción Atómica) (50 / 5) (9 / 3)

Dilución masa = 50/5

Dilución volumen = 9/3

3.3.4 Diseño experimental

Se utilizo un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones y 5 localidades. Con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = resultado

μ = media total

T_i = tratamiento

R_j = repeticiones

E_{ij} = error experimental

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

De acuerdo a los objetivos planteados en este trabajo se presentan los resultados siguientes.

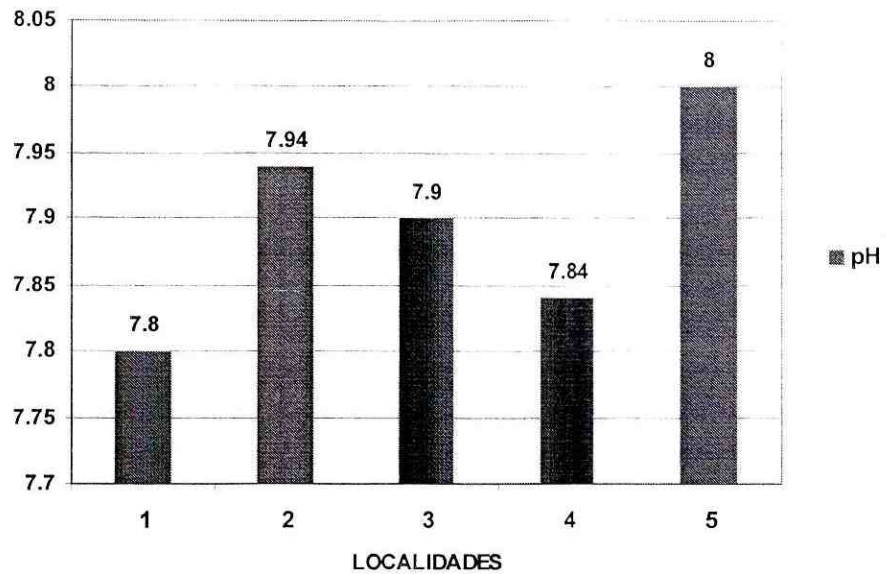
4.1 RESULTADOS DEL pH DEL SUELO.

De acuerdo a los valores de pH obtenidos en cada uno de las localidades estudiadas, demuestran que están dentro de un rango de 7.8 - 8, considerando un suelo como medianamente alcalino, esto significa que los suelos con un pH ácido en presencia del contenido de metal puede ocasionar ecotoxicidad en las plantas y esto probablemente provoque problemas de deficiencias en la asimilación de los metales en el suelo por las plantas debido que el metal no se precipita o reaccione con otros elementos y no se lleven a cabo diversos procesos físicos y biológicos que ocurren en el suelo (Chaney, 2001).

Cuadro 4.1 Resultados de análisis de pH del suelo.

LOCALIDADES	UBICACIÓN	pH
1	Mina de arena atrás de la Sierra de las Noas	7.8
2	Oriente de la Sierra de las Noas	7.94
3	Cañón de polvorera	7.9
4	Cristo de las Noas Poniente.	7.84
5	Cerro de las Calabazas. Gómez palacio Dgo.	8

Grafica 4.1 Resultados de análisis de pH del suelo en cada una de las localidades.



1.-Mina de arena atrás de la Sierra de las Noas, 2.-Oriente de la Sierra de las Noas 3.-Cañón de polvorera 4.-Cristo de las Noas Poniente. 5.-Cerro de las Calabazas. Gómez palacio Dgo.

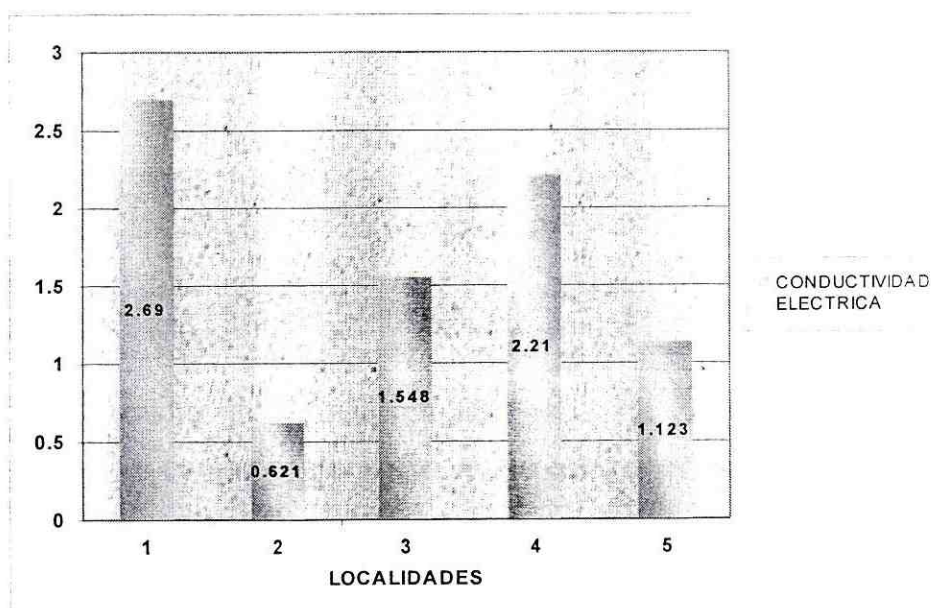
4.2 RESULTADOS DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Se determinó la conductividad eléctrica de cada uno de las localidades encontrándose los sitio 2, 3 y 5 como suelos no salinos de acuerdo a los parámetros establecidos en la metodología aplicada, mientras que en los sitios 1 y 4, se encuentran entre un rango de 2.0 - 4.0 considerándolos como suelos ligeramente salino. De acuerdo a estos valores obtenidos (cuadro 4.2 y grafica 4.2) nos muestra que las diferentes localidades analizadas están considerados como un suelo bajo en sales accesibles para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Cuadro 4.2 Resultados de análisis de conductividad eléctrica.

LOCALIDADES	UBICACIÓN	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
1	Mina de arena atrás del Sierra de las Noas	2.69
2	Oriente de la Sierra de las Noas	0.621
3	Cañón de polvorera	1.548
4	Cristo de las Noas Poniente.	2.21
5	Cerro de las Calabazas. Gómez palacio Dgo.	1.123

Grafica 4.2. Resultados de análisis de conductividad eléctrica.



1.-Mina de arena atrás de la Sierra de las Noas, 2.-Oriente de la Sierra de las Noas 3.-Cañón de polvorera 4.-Cristo de las Noas Poniente. 5.-Cerro de las Calabazas. Gómez palacio Dgo.

4.3 RESULTADOS DE PLOMO EN EL SUELO.

Se determinó el contenido de plomo en cada una de las localidades muestreadas de las cuales en el sitio 1, siendo este el mas cercano a la industria peñoles, con el mayor contenido de plomo, que de acuerdo al cuadro 4.3 el contenido del metal fue disminuyendo con forme se incrementa la distancia del punto de referencia de la industria peñoles.

En el cuadro 4.3 se muestran los niveles de Plomo encontrados en las 5 localidades de suelo analizadas. Los datos determinan que las muestras de suelo tienen una concentración de plomo en un rango de 254.7 mg/L -128.7 mg/L. El valor promedio es tolerable a los 400 $\mu\text{g/g}$ considerado como límite máximo para que el suelo pueda ser utilizado para uso residencial (EPA, 1994).

Cuadro 4.3 Niveles de plomo encontrados en el suelo

LOCALIDADES	UBICACIÓN	PLOMO
1	Mina de arena atrás de la Sierra de las Noas	254.7 mg/L.
2	Oriente de la Sierra de las Noas	286.5 mg/L
3	Cañón de polvorera	226.8 mg/L
4	Cristo de las Noas Poniente.	134.7 mg/L
5	Cerro de las Calabazas. Gómez palacio Dgo.	128.7 mg/L

4.4 RESULTADOS DE CADMIO EN EL SUELO

De acuerdo al cuadro 4.4 se puede notar que existe variación en cada una de las localidades del contenido del metal cadmio, encontrándose un valor mas alto en sitio 2 (oriente en la Sierra de las Noas) de 18.8 mg/L de cadmio y valores mas bajos en las localidades 1, 3, 4 y 5 mg/L de contenido de metal cadmio. Esto significa que el contenido de cadmio en el suelo esta por encima del limite máximo permisible de acuerdo a Kabata-Pendías y Pendías (1984), el nivel más frecuente de cadmio en los suelos está en el rango de 0,07 a 1,00 $\mu\text{g.g}^{-1}$ siendo los contenidos superiores a 0,5 $\mu\text{g.g}^{-1}$ indicadores de influencia del hombre en los horizontes superficiales.

Cuadro 4.4 Niveles de Cadmio encontrados en el suelo

LOCALIDADES	UBICACIÓN	CADMIO
1	Mina de arena atrás de la Sierra de las Noas	17.6 mg/L
2	Oriente de la Sierra de las Noas	18.8 mg/L
3	Cañón de polvorera	16.0 mg/L
4	Cristo de las Noas Poniente.	12.8 mg/L
5	Cerro de las Calabazas. Gómez palacio Dgo.	10.7 mg/L

4.5 DETERMINACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO CON VARIACIÓN DE pH

Para determinar los valores de pH en cada uno de las localidades se ajusto a un pH 2-3 considerando de acuerdo a la clasificación de la metodología como un suelo ácido, que de acuerdo a los resultados obtenidos se considera que aquellos sitios con un pH ácido el contenido del metal plomo es mas alto, que en aquellos sitios con un pH alcalino como se muestra en el cuadro 4.5. Sin embargo, el pH bajo en presencia de contenido de metal alto pueden ser toxicas para la mayoría de las plantas hiper-acumuladoras, mas allá muchas bacterias del suelo y otros microorganismos son sensibles para las concentraciones altas de metales que son también afectadas con un pH ácido. Debido a que el pH mas aceptable para las plantas para la absorción de nutrientes esta considerado entre un rango de 6.6 - 7.3.

Cuadro 4.5 Niveles de plomo en el suelo con variación de pH.

LOCALIDADES	UBICACIÓN	pH	PLOMO
1	Mina de arena atrás de la Sierra de las Noas	2.1	285 mg/L
2	Oriente de la sierra de las Noas	2.15	320 mg/L
3	Cañón de polvorera	2.49	264.9 mg/L
4	Cristo de las Noas Poniente.	3.33	138.9 mg/L
5	Cerro de las Calabazas. Gómez palacio Dgo.	3.52	159 mg/L

Para determinar los valores de pH en cada uno de las localidades se ajusto a un pH 10-11 considerando de acuerdo a la clasificación de la metodología como un suelo alcalino, que de acuerdo a los resultados obtenidos se considera que aquellas localidades con un pH alcalino el contenido del metal plomo se encuentra en menor proporción, que en aquellos sitios con un pH ácidos. Lo cual significa que en medios alcalinos estos metales reaccionan y se precipitan llevando acabo diferentes funciones físicas y biológicas en los suelos y eficientemente sean asimilados por la planta, y esto establece que en los análisis no sean bien detectados en grandes concentraciones. (Cuadro 4.5.1).

Cuadro 4.5.1 Niveles de plomo en el suelo con variación de pH

LOCALIDADES	UBICACIÓN	pH	PLOMO
1	Mina de arena atrás de la Sierra de las Noas	11.8	114.9 mg/L
2	Oriente de la Sierra de las Noas	11.6	133.5 mg/L
3	Cañón de polvorera	11.5	122.6 mg/L
4	Cristo de las Noas Poniente.	11.8	102.6 mg/L
5	Cerro de las Calabazas. Gómez palacio Dgo.	11.1	90.9 mg/L

4.6 RESULTADOS DE PLOMO Y CADMIO EN LAS ESTRUCTURAS DE LA PLANTA (RAÍZ, TALLO Y HOJA) DE *Larrea tridentata*.

De acuerdo al análisis de varianza del cuadro 4.6 nos muestra como los tratamientos o los contaminantes de plomo y cadmio son totalmente diferentes en las estructuras de la planta dando un valor de 100.61 lo cual significa que la presencia del plomo en la planta es mas alta, existiendo una mayor absorción de plomo y por lo tanto hay una diferencia en la concentración del cadmio en el suelo.

En las localidades cuyo valor de (F. C.) fue de 9.36 nos indica que estadísticamente fue altamente significativo por lo que podemos decir, que los análisis que se realizaron en las cinco localidades presentaron una diversidad en la concentración de plomo y cadmio, por lo que se deduce que en algunas localidades hubo más concentración de los contaminantes que en otras como se indica en el cuadro 4.6.

En las repeticiones por localidad estadísticamente salio solamente significativo cuyo valor fue de 3.36 lo cual nos indica que la cantidad de repeticiones que se realizaron por localidad fue adecuada en cada uno de ellos, dando diferencias en la concentración de los contaminantes pero no muy marcadas. Cuadro 4.6.

En el cuadro 4.6 nos dice que en las partes de la planta por localidades L(C) nos muestra que el resultado fue significativo estadísticamente con un valor de 3.14 del cual el análisis de la distribución del contaminante plomo y cadmio dentro de las estructuras básicas de la planta en relación con las localidades son semejantes, lógicamente que es significativo en relación a la presencia del contaminante en la planta, pero no hay mucha diferencias entre ellas.

En L*T(C) que son localidades por tratamiento dentro de la planta es significativa con un valor de 2.29, ya que los contaminantes se encuentran distribuidos en las estructuras básicas de la planta raíz, tallo y hoja, por lo que no hay diferencias entre las muestras ya que en cada una de las localidades estudiadas están presente los contaminantes de plomo y cadmio en las estructuras de la planta y lógicamente en el suelo de acuerdo al cuadro 4.6.

En C*R(L) las localidades por repeticiones dentro de las estructuras de la planta también resultaron significativo dando un valor de 1.64, lo cual significa que existe una correlación entre la distribución de los contaminantes plomo y cadmio en las estructuras de básicas de la planta (raíz, tallo y hoja), pero existe diferencia significativa entre los contaminantes pero no así en sus repeticiones.

De acuerdo al cuadro 4.6 nos dice que en la estructura de la planta (raíz, tallo y hoja) no hubo significancia alguna cuyo valor fue de 0.11, lo cual nos manifiesta que los contaminantes de plomo y cadmio se distribuyen ampliamente en toda las estructuras básicas de planta raíz, tallo y hoja, por lo que no diferencia donde se localicen el contenido de plomo y cadmio esta presente dentro de la planta de *Larrea tridentata*.

Cuadro 4.6 Análisis de varianza utilizado para el proceso estadístico de los datos obtenidos de la planta.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	Pr > F
Localidades	4	87.90708222	21.97677056	9.36**	0.0001
Repeticiones (Localidades)	10	78.92877778	7.89287778	3.36*	0.0048
C (Raíz, Tallo y Hoja)	2	0.50366	0.25183	0.11 ^{N. S.}	0.8986
Tratamientos (C)	3	708.60063	236.20021	100.61**	0.0001
Localidades *C	8	59.04908444	7.38113556	3.14*	0.0105
Localidades *Tratamientos (C)	12	64.51675333	5.37639611	2.29*	0.0325
C * Repeticiones (L)	20	77.12315556	3.85615778	1.64*	0.1066
Error	30	70.4282667	2.34760889		
Totales	89				

F. V.= Fuente de variación

G. L.= Grados de libertad

S. C.= Suma de cuadrados

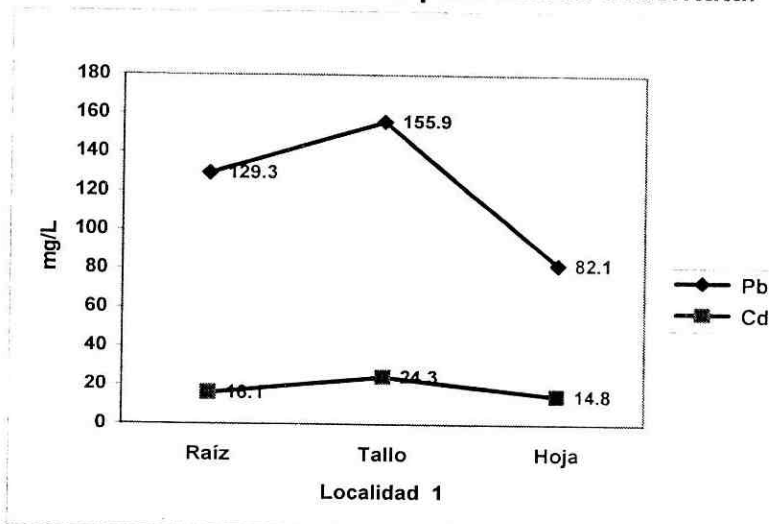
C. M.= Cuadrados medios

F. C.= Frecuencia calculada

Pr > F.= Probabilidad > Frecuencia

De acuerdo a la grafica 4.6.1 nos muestra que en la primera localidad ubicada en la Mina de arena atrás de la Sierra de la Noas la concentración de los contaminantes de plomo y cadmio en las estructuras de la planta se concentra más en los tallos, que en raíz y hoja.

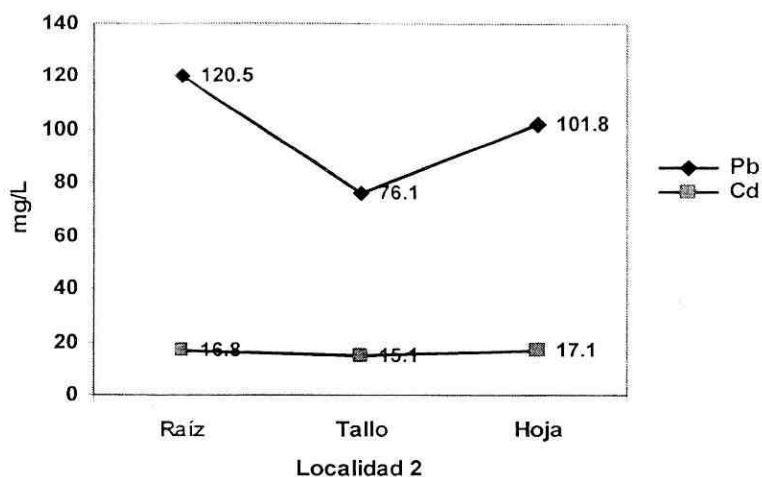
Grafica 4.6.1 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para *Larrea tridentata*.



Localidad 1. Mina de arena atrás de la Sierra de la Noas.

En la grafica 4.6.2 nos muestra que en la segunda localidad ubicada al Oriente de la Sierra de las Noas la concentración de plomo se concentró más en la raíz que en la tallo y hoja, mientras que el cadmio se concentró más en las hojas, que en raíz y tallo marcando un diferencia entre la primera localidad.

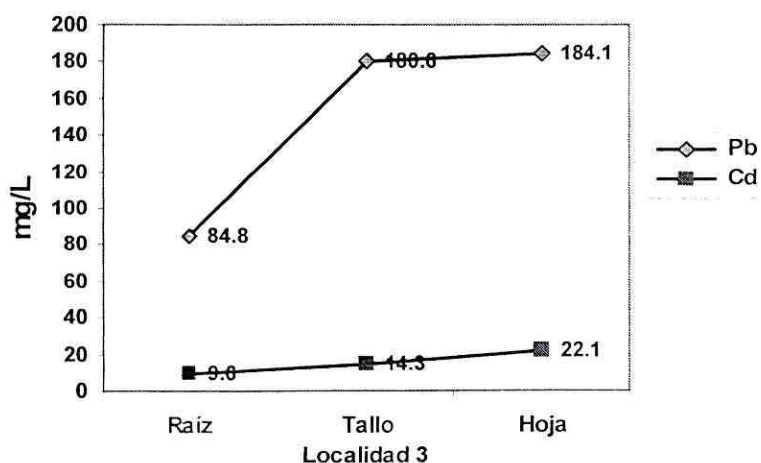
Grafica 4.6.2 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para *Larrea tridentata*.



Localidad 2. Oriente de la Sierra de las Noas.

De acuerdo a la grafica 4.6.3 nos indica que en la tercera localidad localizada en el Cañón de polvorera la concentración de plomo y cadmio en las estructuras de la planta se concentro más en las hojas, que en raíz y tallo.

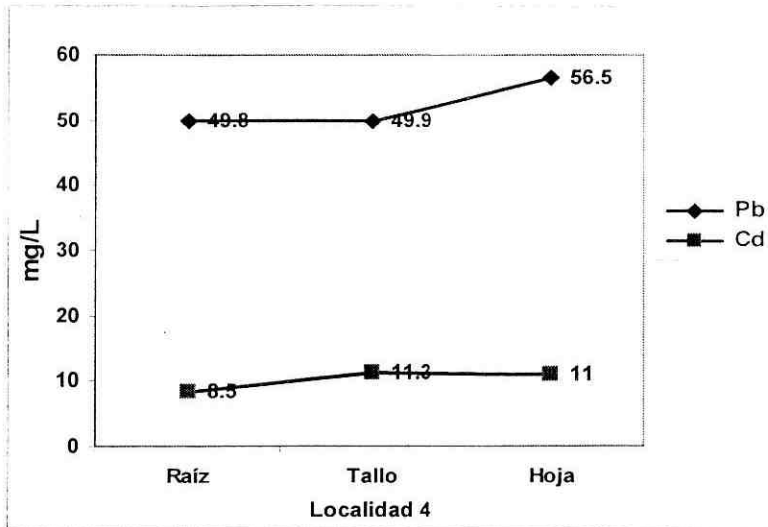
Grafica 4.6.3 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para *Larrea tridentata*.



Localidad 3. Cañón de polvorera.

En la cuarta localidad ubicada en el Cristo de las Noas poniente, la concentración de plomo se concentro más en la hoja, que en la raíz y tallo. mientras que el cadmio se concentro más en tallos, que en raíz y hoja como se indica en la grafica 4.6.4.

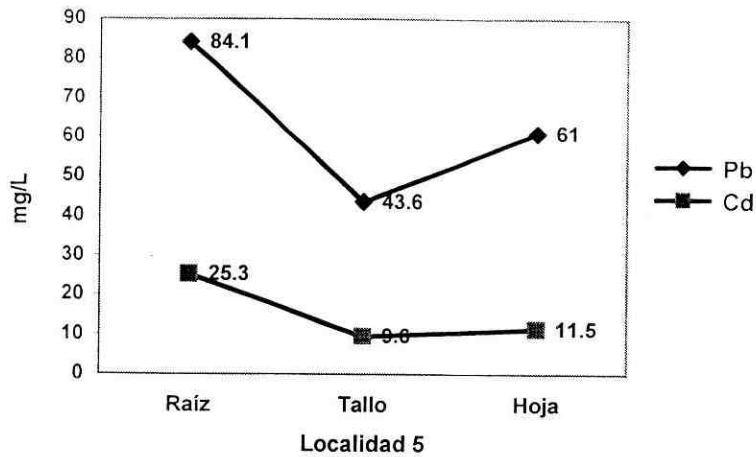
Grafica 4.6.4 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para *Larrea tridentata*.



Localidad 4. Cristo de Noas poniente.

De acuerdo a la grafica 4.6.5 nos muestra que en la quinta localidad ubicada en el Cerro de la Calabaza de Gómez palacio Durango, la concentración de plomo y cadmio se concentro más en raíz, que en tallo y hoja.

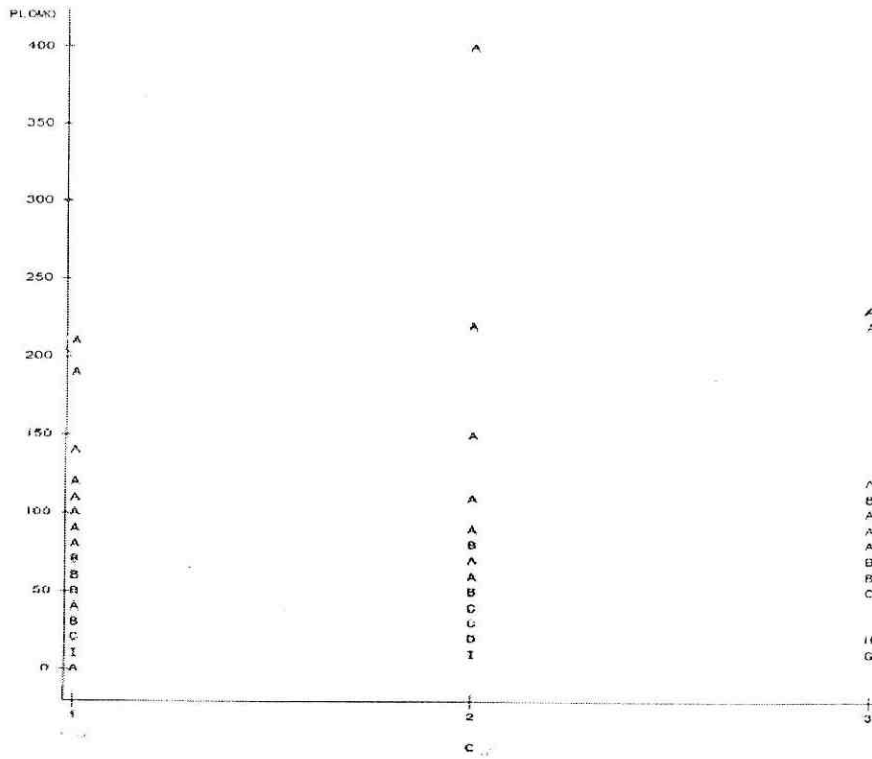
Grafica 4.6.5 Concentración de plomo y cadmio en cada una de las estructuras analizadas para *Larrea tridentata*.



Localidad 5. Cerro de la Calabaza de Gómez palacio Durango.

En la grafica 4.7 nos demuestra de manara generaliza la concentración de plomo en las estructuras básicas de la planta raíz, tallo y hoja, representando así una mayor concertación de plomo en tallo.

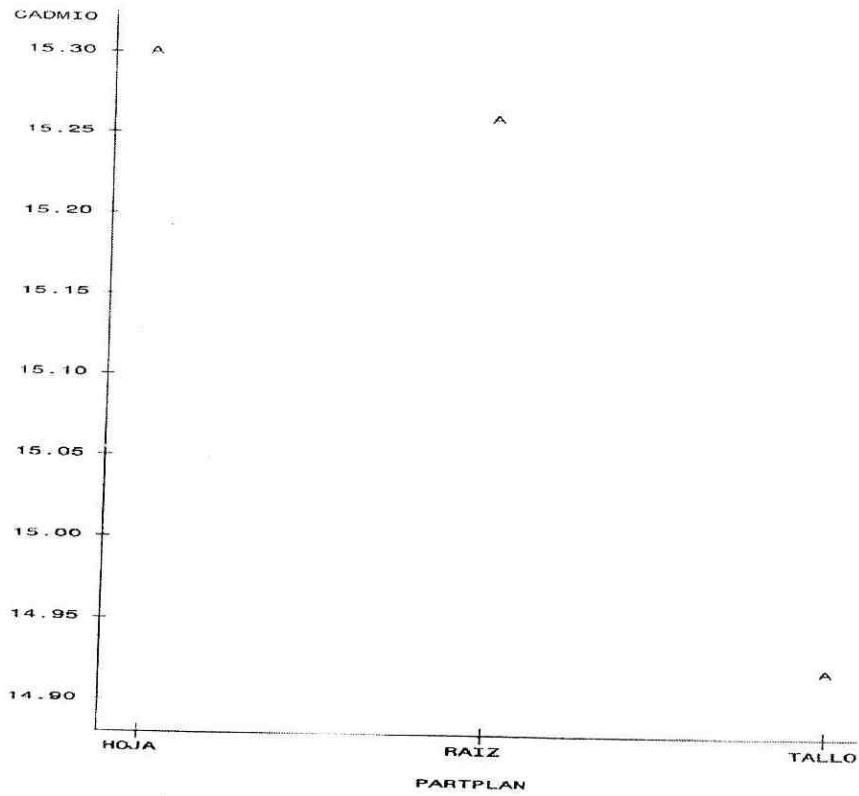
Grafica 4.7 Concentración de plomo en mg/L en las diferentes estructuras analizadas para todas las muestras de plantas.



1. Raíz, 2. Tallo, 3. Hoja

De acuerdo a los análisis estadísticos en la grafica 4.8 nos indica de manara generaliza la concentración de cadmio en las estructuras básicas de la planta raíz, tallo y hoja, representando así una mayor concertación de cadmio en las hojas.

Grafica 4.8 Concentración de cadmio en mg/L en las diferentes estructuras analizadas para todas las muestras de plantas.



CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 DETERMINACIÓN DEL pH DEL SUELO.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que todas las muestras de suelo analizadas están consideradas como suelos medianamente alcalinos, aceptables para que las plantas puedan tolerar y asimilar los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Pero también es aceptable para que los metales presentes en el suelo se precipiten y reaccionen con otros elementos y se lleven a cabo diversas reacciones químicas, físicas y biológicas en el suelo.

La alcalinidad del suelo (pH) afecta la determinación del metal, posiblemente reaccione con otros elementos formando compuestos que se precipitan y nos indican una presencia baja de metal plomo y cadmio.

5.2 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En cuanto a la conductividad eléctrica analizada en cada una de las localidades se determino que los valores obtenidos presentan un contenido de salinidad muy bajo considerando un suelo como ligeramente salino, esta baja salinidad representa que las plantas pueden prosperar y tolerar el contenido de sales presentes en las diferentes localidades, ya que la salinidad es un factor que impide la absorción de nutrientes (soluciones), lo cual puede provocar que estos suelos no permitan el desarrollo y/o crecimiento adecuado de las plantas. Esto permite que la planta pueda absorber adecuadamente y libremente los metales de plomo y cadmio.

5.3 DETERMINACIÓN DEL PLOMO EN EL SUELO

Considerando los resultados de plomo, y por la naturaleza del suelo, podemos decir que la superficie del suelo tiene niveles de plomo tolerables, cuyas concentraciones tienen un rango entre 128.7 mg/L-254.7 mg/L considerados estos valores por abajo de los 400 µg/g, y que conforme a las recomendaciones de EPA (1994), es suelo apto para uso residencial.

5.4 DETERMINACIÓN DEL CADMIO EN EL SUELO

Los valores de cadmio obtenidos pertenecen en un rango de 10.7 mg/L – 18.8 mg/L. De acuerdo a Serrano 1997, cuando se deposita en el suelo se puede tener diversas concentraciones, dependiendo de varios factores tales como la composición de él y de los compuestos que el hombre usa para la agricultura: de la contaminación que exista en la naturaleza. Se han encontrado concentraciones de Cadmio en el suelo menores de 1 mg/L y se decía que no subía de ese nivel, pero ultimadamente se descubrió que en Japón, donde se tienen grandes plantaciones de arroz que es un elemento básico de la dieta de ese país hay de 1-69 mg/L. Si se hace la comparación de los resultados obtenidos se concluye que la concentración de cadmio esta por encima de los 1 mg/L, esto significa que puede estar en menor proporción en el suelo pero puede ser mas dañino para el ambiente en general. A pesar de que la concentración de cadmio en el suelo es de 18 mg/L; se debe saber también que este elemento es toxico para el hombre en bajas concentraciones y por lo tanto puede ser mas peligrosos que el plomo.

5.5 DETERMINACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO CON VARIACIÓN DE pH

Los resultados indican que cuando en un suelo con pH bajo en presencia de contenido de metal alto pueden ser tóxicas para la mayoría de las plantas cuando el pH del suelo se reduce, más allá, muchas bacterias del suelo y otros organismos son sensibles para las concentraciones altas de metal que también son afectadas bajando el pH de suelos de metales altos. Numerosos estudios han demostrado que la mayoría de hiper-acumuladores toma más metal en pH bajo debido a la solubilidad. La reducción del pH está por eso considerado como un componente crítico para la mayoría de las tecnologías de fitorremediación.

En cuanto a un pH alcalino la concentración de los contaminantes plomo y cadmio no son muy detectables en los análisis, ya que estos metales reaccionan y se precipitan, obteniéndose menores concentraciones de plomo y cadmio en medios alcalinos.

5.6 DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN LAS ESTRUCTURAS DE LA PLANTA (RAÍZ, TALLO Y HOJA) DE *Larrea tridentata*.

El contenido de metales pesados de los suelos y en las estructuras básicas de las plantas indica el grado de contaminación en el área. Estos datos también demuestran la habilidad de *Larrea tridentata* para la absorción de plomo y contenido de cadmio.

Las plantas de la especie *Larrea tridentata* han tenido éxito con la habilidad para la absorción metales pesados como plomo y cadmio en suelos contaminados.

La concentración de los contaminantes de plomo y cadmio en las estructuras de las plantas es importante, ya que están presentes en el suelo y de esta manera la planta la absorbe y almacena en sus estructuras básicas.

En comparación con la normatividad señalada por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), para suelos de uso residencial y agrícola es de 400 mg/Kg de plomo (EPA, 1994). Según los resultados de los análisis de los metales pesados, se determina que estos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles.

Estos datos demuestran el potencial de fitorremediación por medio de la especie *Larrea tridentata*; esta considerado como uno de los medios económicos, eficaces de descontaminar metales pesados de suelos contaminados.

5.7 RECOMENDACIONES

En una zona residencial que sea colindante con una zona industrial, se debe de acatar la normatividad y que debe de aportar medidas para el control de estas empresas.

Continuar con estas investigaciones para definir claramente sobre los efectos de la contaminación sobre la población en referencias a los verdaderos núcleos de de contaminación.

Capacitación a la población y autoridades para desarrollar una campaña encaminada a mejorar los hábitos higiénico - dietéticos de los pobladores, así como nutrimentales para prevenir el incremento en los niveles de plomo en sangre.

Considerando los valores bajos de plomo encontrados, se debe iniciar la comunicación de riesgos acerca de los hallazgos en las muestras ambientales.

Se debe de vigilar el cumplimiento de la normatividad respecto a la emisión de polvos por parte de las empresas en operación y otros vectores de contaminación (transporte).

Es necesario identificar otras fuentes potenciales de plomo y cadmio, como agua, aerosoles y alimentos, dado que los pobladores beben agua y se alimentan con los cultivados en esta región.

Los datos de los suelos son suficientes para corroborar el contenido de plomo y cadmio en el suelo e iniciar con la investigación de otras fuentes potenciales de plomo como el agua, los aerosoles y los alimentos.

Se recomienda la reforestación con plantas perennes, herbáceas y arbóreas para estabilizar la contaminación para contener por medio de la fitoestabilización

y fitoremediación, a las fuentes potenciales de riesgo; pavimentar las calles, cubrir con cemento los patios y/o sitios de estacionamiento de las casas asentadas sobre residuos con plomo, para evitar que los depósitos queden expuestos y sean dispersados y potencien el riesgo de intoxicación en la población.

Reubicar a las poblaciones aledañas a las fuentes de producción de plomo y cadmio a lugares más distantes de ellos.

Reglamentar sobre los asentamientos humanos y la planeación de desarrollo de las ciudades o núcleos poblacionales, definiendo el uso del suelo como industrial, comercial y residencial.

5.7.1 Seguimiento al trabajo de investigación

Como seguimiento a este trabajo de investigación se procederá a la colecta de germoplasma de Gobernadora Larrea tridentata. Cav. En la región lagunera, para la germinación de las semillas se llevara a cabo en laboratorio de siembra en charolas de poliestireno con peat moss, por un periodo de 2 a 3 semanas. La semilla será remojada durante 24 horas en agua destilada. El traspaso para aclimatación de la plántula, será en invernadero durante 3 a 4 semanas. El traspaso de la plántula de la charola a la bolsa de plástico y colocación en vivero o sombreadero será hasta los seis meses de edad aproximadamente. Esta planta será usada en la experimentación de fitorremediación de metales pesados plomo y cadmio en suelo. Las plantas serán analizadas por espectrometría de absorción atómica para determinar la presencia de metales pesados de acuerdo a los objetivos planteados en el seguimiento de esta investigación.

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFIA.

- Ahumada, I. y E. Schalscha. 1995. Efecto de la sorción de cadmio y cobre en suelos. *Agrochimica*, Pisa, v. 39, p. 101-110.
- Al Benin, J. D. Sargent, M. Dalton, S. Roda. 1999. "High Concentrations of Heavy Metals in Neighborhoods Near Ore Smelters in Northern Mexico", *Environmental Health Perspectives*.
- Alloway, B. J. 1990. *Heavy metals in soils*. New York: J. Wiley. USA. p. 339.
- Alonso Martirena J. I. y García M. A. 2001. Contenido de metales pesados en suelos forestales de Navarra. Tesis doctoral. Gorosti. Pág. 20.
- 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/rtel/default.htm>. (Consultada el día 10 de agosto del 2006).
- Anderson T., Guthrie E. y B. Walton. 1993. Bioremediation in the rhizosphere. *Environ. Sci. Technol.* 27, p. 2630-2636.
- April W. y R. Sims. 1990. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil. *Chemosphere* 20, p. 253-265.
- Barrow, N. J. 1998. Effects of time and temperature on the sorption of cadmium, zinc, cobalt and nickel by an soil. *Austr J. Soil Res*, Melbourne, v. 36, p. 941-950.
- Bojorquez, T. I, y A. García. 1995. Aspectos microbiológicos de la auditoria ambiental. *PEMEX ambiente y energía*, instituto de investigaciones jurídicas UNAM – PEMEX. Pp. 59 -73.

- Casa Varian. 1971. Informe Técnico de Métodos Analíticos.
- Chaney, R. L., P. G. Reeves, y J. S. Angle. 2001. Rice plant nutritional and human nutritional characteristics: roles in human toxicity. In Inter. Plant Nutrition Colloquium, ed. W. J. Horst Proc., Hanover, Germany.
- Colombo, L., D. Mangione, S. Bellicioni and A. Figlioglia. 1998. Soil profile distribution of heavy metals in a soil amended with sewage sludge for eight years. *Agr. Med. Intern. J. of Agric. Sci.* 128(4): 273-283.
- Corey, G. Galvao, L. 1989. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. O.P.S./O.M. Plomo. Serie Vigilancia 8. Metepec. México.
- Cortinas de Nava Cristiana y Cintia Mosler G. 2002. Gestión de residuos peligrosos. Universidad Autónoma de México. México.
- Crowley E., S. Alves y Gilbert E. 1997. Rhizosphere ecology of xenobiotic-degrading microorganisms. En *Phytoremediation of soil and water contamination*. Capítulo 2, p. 306.
- Cruces-Valiente, E., M. Marint-Cabrejas, F. López-Andreu and R. Esteban. 1996. Cadmium binding capacity of cocoa and isolated total dietary fiber under physiological pH conditions. *J. Food. Sci. Agric.* 72, 476-482.
- Cunningham S., Shann J., Crowley D., y T. Anderson. 1997. Phytoremediation of contaminated soil and water. En: *Phytoremediation of Soil and Water Contaminants* (E. L. Kruger, T. A. Anderson y J. R. Coats, Eds.) Am. Chem. Soc, Washington DC pp. 2-17.

- Dec J. y J. Bollang. 1994. Use of plant material for the decontamination of water polluted with phenols. *Biotechnol. Bioeng.* 44, pp.1132-1139.
- Dushenkov S. 2003. Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil.* 249, p. 167 – 175.
- EPA 2000 (En línea). Introduction to phytoremediation. National Risk management research laboratory. <http://www.aehs.comjournals/phytoremediation>. (Consultada el día 15 de Septiembre del 2006).
- EPA. 1994. *Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge Final Rules*. Environmental Protection Agency, Federal Register, Part II 40 CFR Part 257.
- Fernandez J. C. y F. C. Henriques. 1991. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *Bot rev.*, 57; p. 246-273.
- Gabe, U. y A. Rodella, 1999. Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 30, n. 5/6, p. 605-620.
- González, S. y R. Ite. 1992. Acumulación metálica en suelos del área bajo influencia de las chimeneas industriales de Ventanas (Provincia Valparaíso, V Región). *Agricultura Técnica*, Santiago, v. 50, n. 2, p. 214-219.
- Gupta, U. y S. C. Gupta, 1998. Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 29, n. 11/14, p. 1491-1522.

- Harvey P., B. Campanela., P. Castro., H. Harms., E. Lichtfouse., A. Schöffner., S. Smrcek., y D. Werck. 2002. Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenols. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 9, pp. 29-47.
- Helmke, P. A. 1999. Chemistry of cadmium in soil solution. In: Mclaughlin, M. J.; Singh, B. R. (Ed.). *Cadmium in soils and plants*. Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 36-64.
- Henry, T., Adler, R. Jerone D. S. 1984. *El suelo y su fertilidad*. Editorial continental, S. A. de C. V. México. Pp.136.
- Jian, Wei W., J. Chen., R. William. y R. Cunningham. 1997. Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ. Sci. Technol.* 31, 800-805.
- Joner E. y C. Leyval. 2003. Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza. *Environ. Sci. Technol.* 37, pp. 2371-2375.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1984. *Trace elements in soils and plants*. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida.
- Kassel G., D. Ghoshal. y A. Goyal. 2002. Phytoremediation of trichloroethylene using hybrid poplar. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 8, pp.3-10.
- Kehoe, R .A. 1961. The metabolism of lead in man in health and disease, *J. Inst. Publ. Health Hyg* 24:81-101.

- Kozłowska, K., A. Brzoźowska, J. Sulowska and W. Roszkowski. 1993. The effect of cadmium ion on iron metabolism. Proc. Nutritional, Chemical and Food Processing Implications of nutrient Availability. FECS, Alemania. Part 2. Pp 136-140.
- La Caxia fundación. 1995. Reutilización de residuos urbanos en agricultura. Editorial Aedos.
- Laegreid, M. O. C, Bockman, y E. O. Kaarstad. 1999. Agriculture fertilizers and environment. Wallingford: CAB, p 294.
- Levin Morris; A. M. Gealt. 1997. Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. Primera Edición. Mc Graw Hill. Aravaca Madrid.
- Marjories S., F. W. Hong., J. I. Farmayan., Y. C. Chen. 2001. Phytoremediation of MTBE from a Grounwater plume. Environ. Sci. Technol. 35, pp. 1231-1233.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. New York, NY: Academic Press. USA.
- Martínez, Ma. Del C.; Sosa, G. 1994. "Intoxicación por plomo". En revista Salud de los Trabajadores. 2 (2):159-162. Maracay. Venezuela.
- Martínez, M. 1979. Catalogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. México, D. F. Fondo de cultura económica.
- McLaughlin, M. J. y B. R. Singh, B. 1999. Cadmium in soils and plants: a global perspective. In: McLAUGHLIN, M. J.; SINGH, B. R. (Ed.). Cadmium in soils and plants. Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 1-19.

- Miller, Jr. T. 1974. *Ecología y medio ambiente*. México, D. F. Primera edición. Editorial Iberoamericana, S. A.
- Miller, Jr. T. 2002. *Introducción a la ciencia ambiental*. México, D. F. Quinta edición. Editorial Iberoamericana, S. A. pp. 390.
- Newman L., X. Wang., I. Muiznieks., G. Ekuan., M. Ruszaj., R. Cortellucci., D. Domroes., G. Karscig., T. Newman., R. Crampton., R. Hashmonay., M. Yost., P. Heilman., J. Duffy., M. Gordon. y S. Strand. 1999. Remediation of trichloroethylene in an artificial aquifer with trees: A controlled field study. *Environ. Sci. Technol.* 33, pp. 2257-2265.
- Núñez L., Y. Meas., B. Ortega. y J. Olguín. 2004. Fitorremediación fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*. Pp. 69-82.
- Page A. L. 1974. Fate and effects of trace elements in sewage sludge when applied to agricultural lands, rept. No. EPA 670/2-74-005, Environ protection Agency. Cincinnati, Ohio, USA. Pp. 97.
- Peters, R.W. 1999. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. *J. Hazard. Mater.* 66:151-210.
- Pivetz, B. E. 2001. Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites. Office of solid waste and Emergency response. United-states Environmental pollution Agency, USEPA Washington, D. C.
- Prochnow, L. I.; L. M. Plese., M. F. Abreu. 2001. Bioavailability of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brazilian raw materials. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 32, n. 1/2, p. 283-294.

- PROFEPA. 1999. restauración de suelos contaminados. Grupo de trabajo sobre restauración. Pág. Wed México.
- Ramos - Bello. 2001. Heavy metals, salts and sodium in chinampa soils in México Facultad de Ciencias, UNAM. Departamento de Biología, Laboratorio de Edafología. Agrobiencia volumen 35, número 4, PAG. 387.
- Schroeder, H. A., 1974. The poisons around us. Bloomington, India univ. Press, p.144.
- Seller, k., T. A. Pedersen, y C. Fan, 1993. Review of soil mound technologies for the bioremediation of hydrocarbon contaminate soil. En: Hydrocarbon contaminate soil, vol. 3. Lewis publishers.
- SEMARNAT. 2000. Identificación y Caracterización de Sitios Contaminados con Residuos Peligrosos. México. Pág. 19.
- Serrano, E. L., 1997. El agua. Las aguas residuales y su tratamiento. ERCA, S. A de C. V. México. Pág. 65-69.
- Shann R., J. and J. J. Boyle. 1994. Influence of plant species on In situ rhizosphere degradation. In: ACS Symposium series 563.
- Shuman, K., P. Freibel, G. Schomoke, G. Strugala and B. Elsenhans. 1993. Agedependent effects of oral cadmium on iron availability. Proc. Nutritional, Chemical and Food Processing Implications of nutrient Availability. FECS, Alemania. Part 2. Pp. 220-224.
- Smith, F. L., 1989 "Lead Exposure and Child Development" Published for the Commission of the European Communities and the U.S.A. Environmental Protection Agency. Brussels - Luxemburg ; EPA, USA.

- Thomas, R. E., 1974. Land application of sewage effluents and aludges: selected abstracts rept. EPA 600/2-74-042, Corvallis, Oregon, pp.248.
- USEPA.1996. Guía del cuidado: Medidas fitocorrectivas. Office of solid waste and Emergency response. United state environmental pollution agency. Washington, D.C.
- Valdés F, y V. M. Cabrera. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. 1ª Ed. Texas Center for Policy Studies, CILADHAC, Torreón, Coah. Mexico.
- Valenzuela, A. 2001. Determinación de cadmio en fertilizantes fosforados y su efecto en cuatro tipos de suelos de Chile. 80 f. Tesis (Magister en Ciencias Agropecuarias)-Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Vega, S. 2000. Evaluación Epidemiológica de Riesgos causados por Agentes Químicos Ambientales Toxicología. Cinética y Efectos de la Contaminación Tóxica del Ambiente. Centro Panamericana de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana la Salud, OMS.
- Walton B., A. Hoylman., M. Pérez y T. Anderson. 1994. Rhizosphere microbial communities as a plant defense against toxic substances in soils. ACS Symposium Am. Chem. Soc. Series 563, Washington, D.C.
- Warren, H. V., R. E. Delavault., K. Fletcher y E. Wilkis. 1971. Trace substances in environment, Health 4:94-103.
- Watt M. y J. Evans. 1999. Proteoid roots physiology and development. Plant Physiol. 121, p. 317-323.

Worthington R. D. 1989. Effects of El Paso pollutants on the lichen, moss, and winter annual flora on andesite rock formations, In: P. Gangster and H. Walter (Eds.), Environmental Hazards and Bioresource Management in the United States-Mexico Borderlands, UCLA Latin American Center Publications, Los Angeles California, USA. pp. 105-115.

APÉNDICE I.
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICO
Larrea tridentata. CAV.

Resultados finales de plomo y cadmio en las diferentes estructuras básicas de la plantas. *Larrea tridentata*.

Localidad 1	Planta 1	Plomo	Cadmio
Mina de arena atrás de la sierra de las Noas	Raíz	62 mg/Lt.	7 mg/Lt.
	Tallo	93 mg/Lt.	21 mg/Lt.
	Hoja	72 mg/Lt.	15 mg/Lt.
Localidad 1	Planta 2	Plomo	Cadmio
Mina de arena atrás de la sierra de las Noas	Raíz	137 mg/Lt.	18.5 mg/Lt.
	Tallo	153.7 mg/Lt.	22 mg/Lt.
	Hoja	111 mg/Lt.	16 mg/Lt.
Localidad 1	Planta 3	Plomo	Cadmio
Mina de arena atrás de la sierra de las Noas	Raíz	189 mg/Lt.	23 mg/Lt.
	Tallo	221 mg/Lt.	30 mg/Lt.
	Hoja	63.5 mg/Lt.	13.5 mg/Lt.
Localidad 2	Planta 1	Plomo	Cadmio
Oriente de la sierra de las Noas	Raíz	210.5 mg/Lt.	27.5 mg/Lt.
	Tallo	81 mg/Lt.	18 mg/Lt.
	Hoja	97 mg/Lt.	16 mg/Lt.
Localidad 2	Planta 2	Plomo	Cadmio
Oriente de la sierra de las Noas	Raíz	36.5 mg/Lt.	11 mg/Lt.
	Tallo	39.5 mg/Lt.	11 mg/Lt.
	Hoja	86 mg/Lt.	16.5 mg/Lt.
Localidad 2	Planta 3	Plomo	Cadmio
Oriente de la sierra de las Noas	Raíz	114.5 mg/Lt.	12 mg/Lt.
	Tallo	108 mg/Lt.	16.5 mg/Lt.
	Hoja	122.5 mg/Lt.	19 mg/Lt.
Localidad 3	Planta 1	Plomo	Cadmio
Cañón de polvera	Raíz	100 mg/Lt.	12 mg/Lt.
	Tallo	397 mg/Lt.	26.5 mg/Lt.
	Hoja	227 mg/Lt.	19.5 mg/Lt.
Localidad 3	Planta 2	Plomo	Cadmio
Cañón de polvera	Raíz	68 mg/Lt.	9.5 mg/Lt.
	Tallo	76 mg/Lt.	7 mg/Lt.
	Hoja	110 mg/Lt.	23.5mg/Lt.
Localidad 3	Planta 3	Plomo	Cadmio
Cañón de polvera	Raíz	86.5 mg/Lt.	7.5 mg/Lt.
	Tallo	69 mg/Lt.	9.5 mg/Lt.
	Hoja	215.5 mg/Lt.	23.5 mg/Lt.

Resultados finales de plomo y cadmio en las diferentes estructuras básicas de la plantas. *Larrea tridentata*.

Localidad 4	Planta 1	Plomo	Cadmio
Cristo de las Noas Pte.	Raíz	52 mg/Lt.	11 mg/Lt.
	Tallo	62 mg/Lt.	14 mg/Lt.
	Hoja	47.5 mg/Lt.	11.5 mg/Lt.
Localidad 4	Planta 2	Plomo	Cadmio
Cristo de las Noas Pte.	Raíz	30.5 mg/Lt.	3 mg/Lt.
	Tallo	44 mg/Lt.	9.5 mg/Lt.
	Hoja	74.5 mg/Lt.	11.5 mg/Lt.
Localidad 4	Planta 3	Plomo	Cadmio
Cristo de las Noas Pte.	Raíz	67 mg/Lt.	11.5 mg/Lt.
	Tallo	43.7 mg/Lt.	10.5 mg/Lt.
	Hoja	47.5 mg/Lt.	10 mg/Lt.
Localidad 5	Planta 1	Plomo	Cadmio
Cerro de la Calabaza. Gómez palacio Dgo.	Raíz	81.5 mg/Lt.	58 mg/Lt.
	Tallo	53.5 mg/Lt.	12.5 mg/Lt.
	Hoja	61.5 mg/Lt.	12 mg/Lt.
Localidad 5	Planta 2	Plomo	Cadmio
Cerro de la Calabaza. Gómez palacio Dgo.	Raíz	50 mg/Lt.	10.5 mg/Lt.
	Tallo	52.5 mg/Lt.	11.5 mg/Lt.
	Hoja	46.5 mg/Lt.	10 mg/Lt.
Localidad 5	Planta 3	Plomo	Cadmio
Cerro de la Calabaza. Gómez palacio Dgo.	Raíz	121 mg/Lt.	15.5 mg/Lt.
	Tallo	25 mg/Lt.	5 mg/Lt.
	Hoja	75 mg/Lt.	12.5 mg/Lt.

APÉNDICE II.

**RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS
ESTADÍSTICOS DE PLOMO Y CADMIO *Larrea
tridentata. CAV.***

Análisis de varianza utilizado para el proceso estadístico de los datos obtenidos de la planta. *Larrea tridentata*.

F. V.	g. ℓ	S. C.	C. M.	F. C.	Pr > F
Localidades	4	87.90708222	21.97677056	9.36**	0.0001
Repeticiones (Localidades) C	10	78.92877778	7.89287778	3.36*	0.0048
(Raíz, Tallo y Hoja)	2	0.50366000	0.25183	0.11 ^{N.S.}	0.8986
Tratamientos (C)	3	708.60063000	236.20021	100.61**	0.0001
Localidades *C	8	59.04908444	7.38113556	3.14*	0.0105
Localidades * Tratamientos (C)	12	64.51675333	5.37639611	2.29*	0.0325
C * Repeticiones (L)	20	77.12315556	3.85615778	1.64*	0.1066
Error	30	70.4282667	2.34760889		
Totales	89				