

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

Determinación de bioacumulación de plomo y cadmio mediante absorción atómica en *Alyssum murale*, *Tecoma stans* y *Nicotiana glauca* colectadas en la comunidad minera de Maconí.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Ambientales

Presenta

Carmen Maurilio Flores Guzmán

Dirigido por

M. en C. Miguel Ángel Rico Rodríguez

C.U. Santiago de Querétaro, Qro. Noviembre 2008



Universidad Autónoma de Querétaro.
 Facultad de Química.
 Maestría en Ciencias Ambientales.

Determinación de bioacumulación de plomo y cadmio mediante absorción atómica en *Alyssum murale*, *Tecoma stans* y *Nicotiana glauca* colectadas en la comunidad minera de Maconí.

TESIS

Que para obtener el grado de
 Maestro en Ciencias Ambientales.

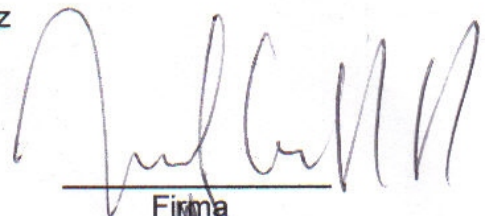
Presenta
 Carmen Maurilio Flores Guzmán

Dirigido por

M en C Miguel Ángel Rico Rodríguez

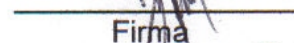
SINODALES

M en C Miguel Ángel Rico Rodríguez
 Presidente



Firma

Dra. Maricela González Leal
 Secretario



Firma

M en C Gustavo Pedraza Aboytes
 Vocal



Firma

Dra. Sandra O. Mendoza Díaz
 Suplente



Firma

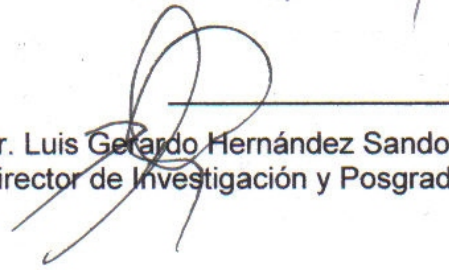
Dr. Mamadou Moustapha Bah
 Suplente



Firma



Q:B: Magali E: Aguilar Ortíz
 Directora de la Facultad



Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
 Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
 Querétaro, Qro.
 Noviembre 2008
 México.

DEDICATORIAS

A mi familia: Linda, Karina y Luís Mauricio por su infinito amor y cariño.

A mis padres, Soledad y Alejandro que me enseñaron que con amor, disciplina, esfuerzo y perseverancia es más probable lograr el éxito.

A todas mis hermanas, hermanos, sobrinos y sobrinas

A Dora, Ana Luisa, Ebelia, Juanita, Laura amigas desde siempre.

A mis entrañables compañeras y compañeros: Tere, Faby, Nora, Rodo, Cesar, Mine, Marthita, Martha, Ruth, Jorge y Gaby porque me ayudaron a llegar a la meta.

AGRADECIMIENTOS:

A **DIOS** le agradezco todo lo que me ha dado inmerecidamente

A todo el personal docente, administrativo y de intendencia de la Facultad de Química de la UAQ que compartieron conmigo sus conocimientos, tiempo y experiencias, muchas gracias.

Al profesor Gustavo Pedraza Aboytes. Director del Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental (CEACA), gracias por todo su apoyo.

Al Dr. Víctor Pérez Moreno, gracias por las sugerencias

A la M en C Carolina Muñoz Torres, encargada del laboratorio de Geoquímica en el Centro de Geociencias de la UNAM, Campus Juriquilla, Querétaro, muchas gracias por su ayuda

Al M en C Miguel Ángel Rico Rodríguez, profesor, compañero, amigo y director de este proyecto, gracias.

Al Comité de tesis: Dra. Maricela González Leal, Dr. Mamadou Mustapha Bah, Dra. Sandra Mendoza y al M en C Gustavo Pedraza Aboytes por sus valiosas aportaciones a este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
Índice general	i
Índice de cuadros	iii
Índice de figuras	iv
Resumen	vi
Abstract	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
II.1. Contaminación ambiental	4
II.1.1. La atmósfera	4
II.1.2. El agua	5
II.1.3. El suelo	6
II.2 Fuentes de contaminación del suelo	7
II.3. Las actividades mineras y su influencia en el ambiente	8
II.4. Metales pesados, plomo y cadmio	10
II.5. Bioacumulación y fitorremediación ambiental	14
II.6. Mecanismos de resistencia a metales desarrollados por las plantas	16
II.7. Características generales de <i>Tecoma stans</i> , <i>Alyssum murale</i> y <i>Nicotiana glauca</i>	20
III. HIPÓTESIS	22
IV. OBJETIVOS	23
IV.1. Objetivo general	23
IV.2 Objetivos específicos	23
V. METODOLOGÍA	24
V.1. Caracterización del suelo contaminado por jales	24
V.2 Determinación de parámetros	24
V.3 Cuantificación de plomo y cadmio en suelo	27
V.4. Determinación de bioacumulación de plomo y cadmio en plantas colectadas en el sitio	28

V.5. Determinación de bioacumulación de plomo y cadmio en plantas cultivadas en laboratorio	29
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
VII. CONCLUSIONES	46
VIII. BIBLIOGRAFÍA	47
IX. ANEXOS	55
X. GLOSARIO DE TERMINOS	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro:	Página
2.1 Límites máximos permisibles de metales en el suelo (mg/kg)	13
2.2 Plantas hiperacumuladoras de metales pesados	18
6.1 Textura del suelo contaminado	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura:	Página
2.1 <i>Nicotiana glauca</i>	21
2.2 <i>Alyssum murale</i>	21
2.3 <i>Tecoma stans</i>	21
3.1. Presa de residuos mineros en Maconí Cadereyta de Montes	25
6.1 Densidad del suelo contaminado en cada punto de muestreo	30
6.2 Concentración de plomo del suelo contaminado en los puntos de muestreo	31
6.3 Concentración de cadmio del suelo contaminado en puntos de muestreo	32
6.4 pH del suelo contaminado en cada punto de muestreo	33
6.5. Materia Orgánica del suelo contaminado colectado en los puntos de muestreo del sitio	34
6.6. Bioacumulación de plomo de <i>Tecoma stans</i> colectada en los puntos de muestreo del sitio	36
6.7 Bioacumulación de plomo de <i>Nicotiana glauca</i> colectada en los puntos de muestreo del sitio	36
6.8 Bioacumulación de plomo de <i>Alyssum murale</i> colectada en los puntos de muestreo del sitio	37
6.9 Bioacumulación de cadmio de <i>Nicotiana glauca</i> colectada en los puntos de muestreo del sitio	38
6.10. Bioacumulación de cadmio por especie durante 5 meses	39
6.11. Bioacumulación de plomo por especie durante 5 meses	40

6.12 Bioacumulación de cadmio por <i>Nicotiana glauca</i> a nivel laboratorio	40
6.13 Bioacumulación de cadmio por <i>Alyssum murale</i> a nivel laboratorio	41
6.14 Bioacumulación de cadmio por <i>Tecoma stans</i> a nivel laboratorio	42
6.15 Bioacumulación de plomo por <i>Nicotiana glauca</i> a nivel laboratorio	43
6.16 Bioacumulación de plomo por <i>Alyssum murale</i> a nivel laboratorio	44
6.17 Bioacumulación de plomo por <i>Tecoma stans</i> a nivel laboratorio	45
A1. Grafica de calibración para la determinación de cadmio en muestras de plantas	58
A2. Grafica de calibración para la determinación de plomo en muestras de plantas	59
A3. <i>Tecoma stans</i> cultivada en laboratorio	63
A4. <i>Alyssum murale</i> cultivada en laboratorio	64
A5. <i>Nicotiana glauca</i> cultivada en laboratorio	65

Resumen

Algunas plantas que se desarrollan en sitios contaminados por metales pesados por ejemplo en las presas de residuos mineros, concentran por diferentes vías elementos potencialmente tóxicos, en sus raíces y partes aéreas, lo que por una parte puede representar una alternativa para remediar suelos contaminados y por otra un problema ambiental para esos ecosistemas. El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración total de plomo (Pb) y de cadmio (Cd) en tres especies de plantas colectadas en la periferia de una presa de residuos mineros y así identificarlas como bioacumuladoras. El estudio se realizó en la comunidad minera de Maconí, municipio de Cadereyta de Montes, en el estado de Querétaro, México. Se muestrearon tres especies de plantas de mayor abundancia (*Alyssum murale*, *Tecoma stans* y *Nicotiana glauca*) en cinco sitios a una equidistancia de 25 m a partir del centro de la geometría circular de la presa en dirección de los vientos dominantes. Se prepararon un total de 75 muestras vegetales y 18 muestras de suelo (tres en cada punto de los seis de muestreo). Las muestras se sometieron a un proceso de digestión en un horno de microondas (Micro Marx modelo 230 / 60) y se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama (Perkin Elmer AAnalyst 300). La concentración promedio de plomo acumulada en *Tecoma stans* fue de 240 mg/kg, en *Alyssum murale* de 394 mg/kg y en *Nicotiana glauca* de 508 mg/kg. Estos valores las identifican como fitorremediadoras y candidatas a remediar suelos contaminados. El contenido promedio de cadmio y plomo encontrados en los puntos de muestreo del suelo fue de 7.98 mg Cd/kg y 41.45 mg Pb/kg.

Palabras clave: plomo, cadmio, bioacumuladoras, suelo

ABSTRACT

Some plants that are developed in contaminated places by heavy metals for example in the preys of mining residuals, they concentrate potentially on different ways toxic elements, in their roots and air particles, what can represent an alternative to remedy polluted soils, on one hand, and an environmental problem for those ecosystems for another. The objective of this investigation was to determine the total concentration of lead (Pb) and of cadmium (Cd) in three species of plants, and, this way to identify them as bioaccumulators. The study was carried out in the community of Maconí municipality of Cadereyta de Montes, in the state of Querétaro, Mexico. We sample by sampling three species of plants of more abundance (*Alyssum murale*, *Tecoma stans* and *Nicotiana glauca*) in five places to an equidistan of 25 m, starting from the center of the circular geometry of the prey in address of the dominant winds. The plants were separated, for a total of 75 samples vegetables and 18 soil samples (three in each point of the six of sampling). The samples underwent a digestion process in a microwaves oven (Micro Marx model 230 / 60) and they were analyzed in an spectrometer of atomic absorption of flame (Perkin Elmer AAnalyst 300. The lead concentration accumulated in *Tecoma stans* was of 240 mg/kg, in *Alyssum murale* of 394 mg/kg and *Nicotiana glauca* of 508 mg/kg, these values, identifies them as bioaccumulators and candidates to phytoremediation of soil contaminated. The average content of opposing cadmium in the sampling points was of 7.98 mg Cd/kg and 41.45 mg Pb/kg.

Key words: lead, cadmium, bioaccumulator, soil

I. INTRODUCCIÓN.

En muchas partes de nuestro planeta, una de las actividades industriales de mucha importancia para algunos sectores de la sociedad es la minería metálica y no metálica, debido a la cantidad de divisas que proporciona a sus economías. Durante cientos de años, los desechos se han abandonado a cielo abierto sin ningún tratamiento, desechos que representan un problema grave para la salud humana y ambiental porque contienen metales y metaloides biodisponibles y potencialmente tóxicos bajo ciertas condiciones. Los estudios epidemiológicos en personas que trabajan en fábricas de pilas de níquel-cadmio, fundidoras de plomo y cadmio, así como empresas relacionadas con la industria metalmeccánica y la minería, han caracterizado a esos metales como carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos. Además se ha establecido que son bioacumulables en muchos organismos acuáticos y terrestres, entre los que se encuentra el hombre. En México, La Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente LEGEEPA (2004) los clasifica como residuos peligrosos por ser elementos potencialmente tóxicos, estos contaminantes pueden ser minerales de plomo, cadmio, mercurio, arsénico, material particulado muy fino (tamaño 2.5 micras), gases como arsina, amoniaco, ácido sulfhídrico, entre muchos otros. Debido a las acciones microbianas y meteorológicas, estos contaminantes, o parte de ellos, se incorporan a otros ecosistemas para provocar efectos adversos a la flora, fauna, microorganismos, cuerpos de agua y por supuesto afectan la salud de las comunidades que habitan desde las cercanías, hasta decenas de kilómetros a la redonda (Csurus, 2002; McGrath, 2001). Se han utilizado técnicas tradicionales para intentar resolver el problema de contaminación de suelos, entre las que se encuentran excavación y entierro, electroquímica, lavado químico aunque éstas últimas, por sus altos costos y bajas eficiencias, han resultado inadecuadas. En la última década se han desarrollado técnicas alternativas, también llamadas emergentes o no convencionales que incluyen la biorremediación.

La biorremediación es una técnica que utiliza organismos vivos, para rehabilitar o restaurar ambientes contaminados. En la naturaleza y desde hace mucho tiempo existen plantas llamadas metalofitas que acumulan en su estructura metales tóxicos. La técnica donde se aplican para remediar sistemas aéreos, terrestres y acuáticos contaminados, recibe el nombre de fitorremediación. El concepto de usar plantas para remediar la contaminación ocasionada por los metales pesados, denominado fitorremediación ha recibido gran atención (Walter, 2003; Chaney, 2000 Barceló, 1980), porque es una técnica económica, innovadora, compatible con el ambiente, y versátil debido a que puede aplicarse a suelo, agua, aire y a contaminantes orgánicos e inorgánicos. Hoy se sabe que es factible utilizar la capacidad fitorremediadora de las plantas para permitir no solo la remediación misma, sino también la regeneración de las características del suelo. Se plantea que la bioacumulación de plomo y cadmio por las plantas objeto de estudio, permite identificarlas como fitorremediadoras de suelos contaminados por plomo y cadmio (Brooks, 1999). En este proyecto se determinó la bioacumulación (concentración de plomo y cadmio) mediante la técnica de absorción atómica de flama, en las plantas penacho amarillo (*Alyssum murale*), sardinillo amarillo (*Tecoma stans*) y tabaco moruno (*Nicotiana glauca*) colectadas en un sitio contaminado por residuos mineros. Estas evaluaciones permitieron identificar las tres especies de plantas como fitorremediadoras. Las concentraciones de plomo y cadmio encontradas en el suelo contaminado cumplen con la normatividad mexicana. Sin embargo, los metales se encuentran biodisponibles y pueden incorporarse a las cadenas alimenticias y representar un riesgo para la salud humana y ambiental (NOM-059; NOM -141-SEMARNAT-2004; Adriano, 2001). El sitio donde se colectaron las especies vegetales se encuentra en la comunidad minera de Maconí, municipio de Cadereyta de Montes, en el estado de Querétaro. Se localiza aproximadamente a 120 kilómetros al noreste de la ciudad de Santiago de Querétaro.

Sus coordenadas geográficas son: Latitud Norte: 20° 50'40" y Longitud Oeste 99° 34' 57" donde aun existe actividad minera en la que los residuos se vierten en presas sin ningún tratamiento. Cerca del sitio existen cuerpos de agua muy importantes entre los que se encuentra el arroyo Maconí y el río Moctezuma, que están siendo contaminados por residuos provenientes de la mina "La negra" perteneciente al consorcio Internacional Peñoles. Esta investigación abrió la posibilidad de utilizar estas plantas para remediar suelos agrícolas y urbanos contaminados por plomo y cadmio, así como la de disminuir el riesgo de contraer enfermedades inducidas por estos tóxicos y evitar que se incorporen a las cadenas tróficas o provoquen contaminación a los mantos acuíferos subterráneos y superficiales. Por otra parte se puede controlar la erosión de suelos provocada por el viento y la lluvia, debido a que estas especies tienen las raíces más profundas y densas que las plantas comunes, por lo tanto tienen mayor estabilidad en el suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

II.1. Contaminación ambiental

Una clasificación general de las fuentes de contaminación es: la natural y antropogénica, esta última, es debida a las actividades producidas por el hombre, en el hogar, la industria, en actividades recreativas, comerciales, prestadoras de servicios, entre muchas otras. Las naturales como erupciones volcánicas, terremotos, maremotos, tormentas, géiseres, tornados. De estas dos fuentes de contaminación, la antropogénica es la que ha causado más daño al ambiente en las últimas décadas, a tal grado que muchas instituciones y sobre todo organizaciones no gubernamentales (ONG) de los diferentes ámbitos están preocupadas por controlar o disminuir sus efectos mediante diversas medidas, aunque muchas solamente quedan en meros protocolos y muy pocas en acciones concretas viables. Entre estas acciones se pueden mencionar La Cumbre de la Tierra en 1992, el Protocolo de Kyoto en 1997 en el que se acordó reducir el nivel de emisiones de clorofluorocarbonos (Medellín, 2003). El problema medular, que se presenta a nivel mundial y que no solamente ha impedido un avance sustancial en la solución del problema de la contaminación, sino que en muchos casos se ha agudizado, es la desigualdad social que existe entre los países desarrollados, (naciones con poder político, económico y militar), y los países llamados en vías de desarrollo, (América Latina, África y algunos países asiáticos) cuyas características son la marginación, la corrupción de sus gobernantes, la impunidad y el nivel educativo muy bajo, (Manzanares, 2005; Díaz-Barriga, 1999).

II.1.1. La atmósfera

Los centros de producción y de servicios de los países industrializados, emiten anualmente miles de millones de toneladas de contaminantes a la atmósfera como el monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, dióxido de carbono, dioxinas, furanos, hidrocarburos aromáticos policíclicos y partículas en suspensión.

Afortunadamente, factores climatológicos como la temperatura, la presión, la velocidad del viento, la lluvia y la topografía favorecen la dispersión de los contaminantes. Sin embargo, cuando una capa de aire frío se asienta sobre una capa de aire caliente, se produce una inversión térmica y los contaminantes permanecen cierto tiempo cerca de la superficie del suelo, para provocar casos como el de Pennsylvania en 1948, Londres Inglaterra en 1962, Bophal India en 1984, en que fallecieron miles de personas. El efecto también se puede observar en los cultivos, el ganado, las construcciones y muchos ecosistemas. Como consecuencia, más del 40 por ciento de las enfermedades que se presentan en el mundo y que afectan a niños, ancianos y personas desnutridas se deben a la contaminación de la atmósfera, suelo y agua (Diez, 2007; Madejón, 2004; Eissa, 2003).

II.1.2. El agua

Algunos autores clasifican las fuentes de contaminación del agua en puntuales y no puntuales, entre las primeras se tiene las fuentes bien identificadas como los desagües de los diferentes centros de producción, comerciales y los de prestadores de servicios, para referirse al significado más amplio, y las segundas cuyo origen” no puede identificarse fácilmente,” como por ejemplo los lixiviados de la industria minera, actividades agrícolas, infiltraciones de fosas sépticas, y centros automotrices de servicio (Sangabriel, 2006; Asagba, 2005). La contaminación inmensa de las aguas marinas por la industria petrolera (plataformas marinas, buques petroleros, pozos de exploración y de explotación) es muy grave, porque el petróleo es menos denso que el agua y permanece como una capa sobre la superficie sin permitir el paso de la luz solar, esto afecta a la flora y a la fauna que depende de esta fuente de energía (Castañe, 2003). Los efectos de la contaminación del agua son diversos, el aumento de la cantidad de nitratos puede producir eutrofización es decir un aumento de nutrientes para algunas especies de plantas y desfavorecer a otras.

La contaminación del agua por metales pesados es también un problema grave porque han afectado la salud de millones de personas. Por ejemplo, cuando en Minamata, Japón, una compañía arrojó durante varios años sus residuos contaminados con mercurio al mar, el mercurio se bioacumuló en los peces y otros mariscos que después fueron consumidos por aves y por diferentes clases de mamíferos que incluyeron al hombre que al poco tiempo murieron (Kumar, 2007; Olga, 2006). En México, como en algunos países latinoamericanos, la India y algunos países africanos muchas comunidades no tienen servicio de agua potable y beben agua de pozos artesianos con concentraciones de arsénico que ponen en riesgo su salud (Shibata, 2007; Calderon, 2003).

II.1.3. Suelo

La contaminación del suelo hace que éste se degrade (pérdida de calidad y cantidad) debido a la salinización, deforestación, drenaje y lluvia ácidos, contaminación natural y antropogénica, pérdida de componentes, masa y estructura. Los accidentes y sus experimentos nucleares por parte de algunos países han contaminado con elementos radiactivos el ambiente, algunos de estos contaminantes tienen una vida media de miles de años (Carpena, 2007; Rivera-Cruz, 2006). El suelo es un cuerpo natural no consolidado compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases que se caracteriza por tener horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía a través del tiempo. Su espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad. El suelo constituye un recurso natural de gran importancia, que desempeña funciones en la superficie terrestre como reactor natural y hábitat de organismos, así como soporte de infraestructura y fuente de materiales no renovables (Lagrega, 1996). La clasificación internacional de los suelos, de acuerdo al sistema FAO/UNESCO divide a los suelos en unidades o categorías de acuerdo a ciertas características generales, como su morfología y composición, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir.

Por ejemplo la profundidad, el color, la textura, la estructura y la composición química, así como las características de los horizontes, junto con el grosor, número y naturaleza de las capas, entre muchos otros factores (SEMARNAT, 2004). Los efectos desfavorables de los contaminantes en el suelo como sistema, se reflejan en la destrucción del poder de autodepuración, al superarse la capacidad de aceptación del suelo, contaminación de las aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencia de masa y energía (Sugiyama, 2007; Martínez, 2005). En muchas ocasiones se alcanzan concentraciones superiores a las consideradas aceptables. Los espacios contaminados presentan problemas de salubridad para los usuarios. También las actividades edáficas y biogeológicas se ven disminuidas por las diferentes fuentes de contaminación (Puga, 2006; Zagury, 2005; Ramírez, 2002).

II.2. Fuentes de contaminación del suelo

Las principales fuentes de contaminación del suelo son: exploración y explotación de petróleo, actividades agrícolas, la producción de bienes o servicios, la minería metálica y no metálica. Las intensas actividades petroleras en diversas regiones del país y en el mar han contribuido a una severa contaminación por hidrocarburos, metales pesados y otras sustancias tóxicas, que han penetrado al suelo y contaminado cuerpos de agua. Las fuentes más importantes de benzo(a)pireno (BaP) son la combustión incompleta del petróleo y quema de áreas forestales, el BaP es un componentes de petróleo crudo, junto con los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) pueden ser mineralizados en la rizósfera, o ser absorbidos y acumulados en las raíces de las plantas para su metabolismo y volatilización.(Chao-Yang, 2006; Medina, 2001; Anderson,1993). Las actividades agrícolas, frecuentemente mediante prácticas inadecuadas, constituye una de las fuentes más importantes, que impactan no solo en los suelos de las áreas donde se aplica, sino que llegan a través de los ríos hasta las zonas costeras afectando las especies marinas. La aplicación de plaguicidas genera conflictos por el elevado número de trabajadores intoxicados por estos productos, con un alto índice de mortalidad.

Así como también por los efectos adversos sobre la salud de las comunidades, la flora y la fauna (Becerril, 2007; Alkorta, 2004). La producción de bienes o servicios a lo largo y ancho del territorio nacional ha generado importantes focos de contaminación.

En primer termino por la falta de conciencia ecológica que prevaleció durante muchos años y en segundo por el manejo inadecuado de los materiales y de todo tipo de residuos, los cuales representan un serio problema en aquellos lugares donde se desarrollan estas actividades (Antiochia, 2007; Monterroso, 2003; Medina, 2001). Se han acumulado evidencias de graves problemas de contaminación de suelo, que conllevan a la contaminación de acuíferos por fugas en contenedores de materiales peligrosos, así como por derrames continuos de lubricantes, solventes orgánicos, y otro tipo de sustancias, por prácticas inadecuadas en su manejo, principalmente en estaciones de servicio de gasolina, talleres de reparación de auto transporte, estaciones e instalaciones de ferrocarriles, terminales de autobuses, aeropuertos y diversas industrias (Medina, 2001). El empleo de aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas por su alto contenido de materia orgánica, y otras sustancias nocivas, implica el riesgo de que los suelos y los cultivos se contaminen con los residuos químicos provenientes de las descargas industriales y municipales (Prabha, 2007; Pineda, 2004). La disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales, que pueden contener residuos peligrosos, representa una seria amenaza de contaminación a los suelos y cuerpos de agua debido a la presencia de metales pesados.

II.3. Las actividades mineras y su influencia en el ambiente

A nivel mundial, muchos de los países que cuentan con actividad minera subterránea y a cielo abierto, ha tenido un impacto adverso a la salud ambiental y humana, debido las cantidades de desechos tóxicos que emiten. Por ejemplo, en Corea del sur han encontrado metales pesados muy por arriba de los límites permisibles en ríos hasta 10 kilómetros abajo de donde se encuentran las minas abandonadas (Zacchini, 2008; Jin, 2005, Walter, 2003).

En la reserva forestal de Imataca, en Venezuela las actividades mineras provocaron daños irreversibles de flora y fauna debido a los desechos emitidos (Reyes, 2006). En Aznalcóllar, España donde en 1998 sucedió un desastre ecológico debido a la ruptura de las presas de residuos de una mina, los residuos de lodo y agua contaminada afectaron flora y fauna de los ríos Agrio y Guadamar a lo largo de 40 kilómetros (Programa de Investigación del Corredor Verde del Guadamar, 1999). En México, hace más de cuatrocientos años las compañías extranjeras han tenido actividades mineras, en muchos casos ininterrumpidas que han dejado montañas de residuos mineros conteniendo diversos materiales potencialmente tóxicos, a los cuales se exponen las poblaciones, la flora y la fauna a través del suelo, aire o de las aguas contaminadas (Dorronsoró, 2007).

Según la Comisión Nacional del agua (CNA) en la Mina La Negra, Cadereyta de Montes, Querétaro, han sucedido tres accidentes. En el primero ocurrido en 1987, hubo un desgajamiento de la cortina de la presa número 3 por las lluvias torrenciales; el impacto del derrame llegó hasta el río Moctezuma a 10 Km de distancia, el residuo derramado fue de aproximadamente de 1500 toneladas. En el segundo, debido a lluvias torrenciales y errores operativos en 1996, se derramaron de la presa número 5, 50 toneladas de residuos, alcanzando una distancia de 4 km río abajo.

El tercero, por falta de mantenimiento en 1997, de la presa número 2 se derramaron 750 toneladas de jales y el impacto llegó hasta el río Moctezuma, a 10 Km de distancia. Dos de los contaminantes en las zonas mineras son el plomo y el cadmio, a los cuales se suma el arsénico y el mercurio (Archer, 2004; Calderón, 2003; Wang, 1997). El enriquecimiento de minerales consiste en su separación de la ganga que los acompaña. Los procesos para su recuperación son pirometalurgia e hidrometalurgia, los primeros incluyen operaciones como calcinación, tostación, fusión, volatilización, electrólisis. Mientras que los segundos abarcan operaciones como lixiviación, purificación, concentración, donde se adicionan surfactantes, cianuros, xantatos y muchos otros químicos para favorecer la separación de metales valiosos.

Como en ningún proceso de concentración se recupera el 100 por ciento, los desechos mineros (jales) siempre contienen elementos tóxicos de diversa naturaleza; estos desechos son arrojados en presas, ríos, arroyos, y su impacto ambiental aumenta a medida que se incrementa el uso de reactivos para favorecer el proceso de separación de los metales valiosos (Gutiérrez, 2007).

II.4. Metales pesados, plomo y cadmio

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental y su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1 %. Junto a estos metales pesados hay otros elementos que aunque son metales ligeros o no metales y se suelen englobar a ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados; éste es el caso del arsénico, boro, bario y selenio (Volke, 2005). El plomo es inodoro, insípido y no tiene valor fisiológico conocido. Es insoluble en agua, se utiliza en la fabricación de municiones, baterías, materiales para techado, equipo médico y equipo militar. Al descargarse al medio ambiente, el plomo a menudo entra en contacto con aniones y forma compuestos como nitrato y acetato de plomo. Este elemento es importante para muchas industrias porque tiene bajo punto de fusión, alta densidad, dureza y resistencia a ácidos. Los principales usos de este metal y sus aleaciones se encuentran en baterías, pigmentos, cerámica, plásticos, municiones, entre muchos otros. En México, como en muchos países en vías de desarrollo en muchas viviendas todavía hay partes cubiertas con pintura con alto contenido de plomo, sobre todo las casas antiguas, (Spain, 2003), el riesgo es mayor para la salud humana cuando la pintura está deteriorada, en estas condiciones la pintura puede contaminar el polvo o suelo de las inmediaciones, o puede ser ingerido directamente por los niños. Los principales procesos industriales constituyen el principal foco emisor de plomo a la atmósfera, con 73 por ciento del total de estas. La fuente principal es el procesamiento de metales, que en 1996 generó 52 por ciento de las emisiones.

Las concentraciones de plomo son más altas en las inmediaciones de las fuentes estacionarias, como las minas, fundidoras ferrosas y no ferrosas, y las fabricas de baterías.

Las poblaciones que residen en zonas cercanas pueden encontrarse seriamente expuestas, (Vibol, 2007; Vásquez, 2001). Las plantas pueden hacer acopio superficial de plomo debido a la deposición atmosférica, mientras que sus tejidos internos pueden contener plomo como resultado de la absorción biológica del suelo y la superficie de las hojas.

La absorción del plomo por el suelo aumenta cuando este es más ácido y si su contenido en materia orgánica es escaso. Cuando el plomo es inhalado o absorbido por la piel, resulta altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular (Valdés, 2003; Castañe, 2003).

La eliminación de plomo se efectúa por la orina, las secreciones gastrointestinales y otras vías como el sudor. Si la cantidad de plomo absorbida supera a la eliminada, se produce la acumulación de plomo en hígado, riñones, músculos y cerebro, pero de forma más clara en el tejido óseo. Después de un cierto tiempo de exposición afecta principalmente a los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, reproductor y gastrointestinal (Cabrera, 2004; Calderón, 2003). La biodisponibilidad del plomo en los suelos depende de la composición de éstos, de su acidez, de las especies de plomo presentes en ellos y de otros factores. Se sabe que las plantas pueden incorporar Pb a su organismo, al igual que el ganado que ingiere pastura con suelo contaminado. El polvo, sobre todo el que se introduce en los hogares, en áreas cercanas a fuentes fijas emisoras, puede contener plomo (Sauquillo, 2003; ATSDR, 2001). De acuerdo con la normatividad mexicana, el suelo se considera peligroso cuando alcanza 400 mg Pb/kg o concentraciones mayores (NOM 147). El cadmio es un metal pesado de color blanco plateado, que no es esencial para el desarrollo de animales y plantas (Lisazo, 2003). No se encuentra en estado nativo, frecuentemente se presenta en pequeñas cantidades, asociado a minerales de cinc, tales como la blenda, octavita y la monteponita (ATSDR, 2003). El cadmio metálico se emplea en la industria metalúrgica.

Sus compuestos se utilizan como pigmentos, como estabilizador de plásticos en el cloruro de polivinilo (PVC), en la fabricación de baterías níquel-cadmio.

Se utiliza también en la elaboración de plaguicidas y fertilizantes así como también en los reactores nucleares (Muthanna, 2007; Robinson, 2003). El cadmio se libera al aire, al suelo y al agua por actividades humanas. Puede introducirse al suelo a través de residuos de la producción de metales y de la manufactura de artículos que contienen cadmio. Así como de cenizas producto de la incineración de residuos urbanos; está también presente en los fertilizantes fosfatados, desde donde puede incorporarse al suelo por medio de la irrigación (Hernández, 2001; Grimalt, 1999). La absorción de cadmio por las plantas es la principal ruta de entrada de este metal en la cadena alimenticia, siendo su concentración en el suelo y el pH los factores determinantes del proceso (Cabrera, 2004). De acuerdo con la normatividad mexicana el suelo se considera peligroso cuando alcanza 37 mg Cd /Kg o concentraciones mayores (Cuadro 2.1). Los metales no se degradan, así que pueden acumularse en los ecosistemas a través del tiempo provocando a ciertas concentraciones efectos adversos en la mayoría de los organismos; por ello se han desarrollado técnicas para remediar suelos contaminados por estos metales (Chaney, 2000).

Cuadro 2.1 Límites máximos permisibles de metales en el suelo (mg/kg) (NOM 147.SEMARNAT 2004).

Metal	Uso agrícola/residencial (mg/kg)	Uso Industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plomo	400	750
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	550	7200

I.5. Bioacumulación y fitorremediación ambiental

Las técnicas tradicionales de remediación de suelos contaminados por metales pesados generalmente involucran prácticas convencionales de ingeniería civil aplicadas individualmente o en grupo. En estos procesos físicos, químicos y térmicos principalmente se requiere remover físicamente el suelo del sitio contaminado, (Madejón, 2004; Teocharopoulos, 2001). Las técnicas se clasifican en tres grupos, la contención, solidificación y estabilización y, encapsulamiento. La contención incluye las técnicas denominadas de cobertura, barreras verticales y horizontales. Al aplicar estos procesos el material contaminado se mantiene en su lugar de manera que no entra en contacto con personas ni con el medio ambiente (Miller, G. 2002).

En la solidificación y estabilización, se inyectan agentes de tratamiento al material contaminado para obtener residuos sólidos y así reducir la solubilidad del contaminante. El encapsulamiento consiste en introducir los contaminantes en capsulas poliméricas, cementos especiales tipo IV para almacenarlas en lugares especiales. Las técnicas antes descritas tienen como desventajas un elevado costo de energía, destrucción del sitio contaminado y problemas de logística (Antiochia, 2007). En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas, también llamadas emergentes, como la fitorremediación. Esta emplea plantas para remover, degradar o contener contaminantes localizados en suelos, sedimentos, aguas subterráneas y aún en la atmósfera (Kraemer, 2005; Lombi, 2001; Altamirano, 1999). Las plantas se utilizan para tratar contaminantes como metales pesados, derivados del petróleo, solventes clorados, pesticidas, compuestos radiactivos, explosivos. Estas plantas pueden ser hierbas, arbustos y árboles, con ciertas características inherentes que les dan ciertas ventajas (Eric, 2005; López, 2005). Las aplicaciones *in situ* disminuyen la diseminación de la contaminación a través del aire o el agua, no se requiere de equipos costosos ni de personal altamente capacitado, fácil de implementar y de mantener, bajos costos en comparación con los tratamientos convencionales.

Sin embargo, también tiene algunas limitaciones, por ejemplo se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera de la planta, puede llevar varios años remediar un sitio contaminado (Wang, 2000; Ivana, 2003). Esta técnica está limitada a sitios con baja concentración de contaminantes, la biomasa de las plantas cosechadas en el tratamiento de fitoextracción pueden ser clasificadas como residuos peligrosos, depende de las condiciones climáticas y la introducción de especies no nativas puede afectar la biodiversidad (Martínez, 2002). De los diferentes procesos de fitorremediación solo cuatro son revelantes para la fitorremediación de metales: fitoextracción, fitoestabilización, rizofiltración y fitovolatilización (Ramírez, 2002). La fitoextracción, se refiere a la absorción de los contaminantes por la raíz de la planta y su transportación a las porciones superiores de la misma.

Las plantas se distribuyen en el sitio contaminado y transcurrido un tiempo se cosechan para ser incineradas; si los metales tienen valor comercial pueden ser extraídos de las cenizas. El procedimiento se realiza tantas veces como sea necesario para descender hasta niveles permisibles de contaminantes.

La fitoestabilización, es el uso de ciertas plantas para inmovilizar contaminantes en el suelo, sedimentos y lodos a través de su absorción y acumulación en la raíz, adsorción a la raíz o precipitación en la rizosfera (Kamaludeen, 2008). Por medio de este proceso se reduce la movilidad de los contaminantes y se previene la migración de los mismos al agua o al aire. Además disminuye la biodisponibilidad de los metales para su entrada a la cadena alimenticia. La rizofiltración se utiliza fundamentalmente para remediar aguas subterráneas, aguas superficiales y aguas residuales. Implica la adsorción, precipitación o absorción de los contaminantes por las raíces de las plantas acuáticas o terrestres. Una vez que se haya desarrollado el sistema radicular, las plantas se aclimatan con agua contaminada y posteriormente se plantan en el área designada. Cuando las raíces de las plantas se saturan de contaminantes como Pb, Cd, Cu, Ni, Zn o Cr, éstas se cosechan e incineran para el posterior reciclado de los metales (Asagba, 2005).

La fitovolatilización, involucra el uso de plantas para absorber a los contaminantes, y transformarlos a formas volátiles para liberarlos por transpiración a la atmósfera, la volatilización se aplica generalmente en agua subterránea aunque también puede utilizarse en suelo, sedimentos y lodos contaminados con selenio, mercurio y arsénico, sin embargo, no es un método adecuado de fitorremediación, debido a que los contaminantes solamente se trasladan de un lugar a otro.

II.6. Mecanismos de resistencia a metales desarrollado por las plantas

Los vegetales que crecen en sitios contaminados han desarrollado mecanismos de tolerancia a su medio ambiente (Andrew, 2005). A la fecha dichos mecanismos no son comprendidos en su totalidad; sin embargo, las posibles estrategias se clasifican dentro de dos categorías: Exclusión, implica la formación de compuestos bioquímicos complejos en el medio ambiente o en la pared celular de las plantas, precipitación de metales en el exterior debido a la secreción de mucílagos y otros compuestos orgánicos; alteración de los sistemas de membrana del transporte para reducir la entrada de metales y aumento en la actividad de ciertas bombas iónicas (Cho-Ruk, 2006). La inclusión y acumulación, comprende la captura de los metales en el interior de pared celular o en la vacuola. De acuerdo con Clemens (2002), el proceso de acumulación de metales puede comenzar cuando los iones alcanzan la zona de absorción de la raíz por difusión a través de la solución salina, las raíces capturan los iones hidratados o los complejos metal- quelante por medio de sistemas transportadores, como bombas primarias y canales iónicos.

La detoxificación interna de los metales se puede dar a través de la incorporación de proteínas, ácidos orgánicos, histidina y pépticos ricos en grupos tiol denominados fitoquelatinas, reacciones de oxidación-reducción las cuales cambian el estado reactivo del metal a una forma menos tóxica (Liu, 2005).

Dentro de las células, los metales son quelados principalmente por fitoquelatinas; el exceso de metales es transportado a la vacuola.

Los metales se transportan de las raíces a las partes aéreas vía xilema, dentro de él los metales se presentan como iones hidratados o como complejo metal-quelante principalmente como histidina y ácido cítrico como ligantes. Después de penetrar el apoplasto de las hojas, los metales se distribuyen dentro de la célula manteniendo en cada organelo las concentraciones dentro de los rangos fisiológicos específicos (Wang, 2004). Después de penetrar al apoplasto de las hojas, los metales se distribuyen dentro de la célula manteniendo en cada organelo las concentraciones dentro de rangos fisiológicos específicos. El exceso de metales esenciales y no esenciales se almacenan en las vacuolas.

Las plantas denominadas fitorremediadoras, poseen, como atributos ideales la capacidad de acumular preferentemente en la parte superior de la planta; son tolerantes a la concentración del metal acumulado, crecen rápido, generan elevada producción de biomasa, contienen sustancias que impiden que los herbívoros las consuman para prevenir la incorporación a las cadenas alimenticias (Casteel, 1997). Dentro de las plantas fitorremediadoras destacan las hiperacumuladoras, las cuáles son capaces de crecer en suelos contaminados con metales tóxicos y acumularlos a niveles extraordinariamente elevados. Según el criterio de bioacumulación de Brooks, las plantas hiperacumuladoras de Pb, son aquellas capaces de acumular al menos 0.1 por ciento en base seca, y las que acumulan 0.01 por ciento de Cd o más son clasificadas como hiperacumuladoras de cadmio, en caso de que las concentraciones sean menores sin llegar a cero, se clasifican como fitorremediadoras.

Se han reportado más de 400 diferentes especies de plantas hiperacumuladoras (Jensen, 2006; Wong, 2003), muy pocas comparadas con la cantidad de especies que existen en el mundo.

En el cuadro 2.2 se muestran algunos ejemplos de plantas hiperacumuladoras de metales (Brooks, 1999).

Cuadro 2.2 Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ELEMENTOS ACUMULADOS
<i>Azolla filiculoides</i>	Helecho acuático	Cu, Ni, Mn, Pb
<i>Bacopa monnieri</i>	Bacopa	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb
<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn
<i>Hydrilla verticillata</i>	Maleza acuática	Cd, Cr, Hg, Pb
<i>Lemna minor</i>	Lenteja de agua	Cd, Cu, Pb, Zn
<i>Pistia stratiotes</i>	Lechuga de agua	Cd, Cr, Cu, Hg,
<i>Salvinia molesta</i>	Salvinia	Cr, Ni, Pb, Zn
<i>Spirodela polyrriza</i>	Flores de agua	Cd, Cr, Ni, Pb, Zn

La Fitorremediación es un proceso que muestra en principio, una disminución en la producción de biomasa, porque se produce una fuerte inhibición de numerosas enzimas, debido a la influencia negativa de los metales pesados sobre algunos procesos fisiológicos importantes de las plantas, tales como la fotosíntesis clorofiliana (Carpena, 2007; Antiochia, 2007). Esta influencia se debe a que muchas enzimas contienen grupos que tienen electrones libres, como los grupos sulfídrico, amino, imino, carboxilo, donde el ión metálico puede adicionarse modificando la estructura atómica de las enzimas y por lo tanto inhibiendo o afectando las funciones específicas de las mismas. Uno de los mecanismos que hipotéticamente han explicado los investigadores para las plantas fitorremediadoras, es la formación de complejos entre los iones metálicos y las metalotioneinas, enzimas que se sintetizan en la planta debido a la incorporación del metal a su estructura (Lombi, 2001). También se presume que el metal se acumula en las vacuolas, lugar donde el metal no hace daño a la célula o es menor la afectación. Las plantas ideales para la fitorremediación deben reunir las siguientes características: crecimiento rápido, gran cantidad de biomasa, raíces profundas y densas, buena capacidad de acumulación de metales pesados en sus

raíces y partes aéreas. La realidad, es que la mayoría de este tipo de plantas de forma natural tiene velocidades de crecimiento bajas, poca cantidad de biomasa, y acumulan cantidades relativamente pequeñas de metales en su estructura.

El objetivo de este trabajo fue determinar mediante absorción atómica de flama la concentración total de plomo y cadmio en raíces y partes aéreas de cada una de las tres especies de plantas (*Alyssum murale*, *Nicotiana glauca* y *Tecoma stans*) dominantes que se desarrollan en un suelo contaminado por residuos mineros, en la comunidad de Maconí, municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro.

Los estudios iniciales de (Brooks, 1999; Baker, 1980) en fitorremediación, se enfocaron a especies hiperacumuladoras tales como *Thaspi caeurulences*, *Silene vulgaris*, *Brassica noleraceae*, *Raphanus sativus*, *Thaspi rotundifolium*, *Alyssum lesbiacum* y *Arabidopsis thaliana*, que se desarrollan en suelos contaminados, y son capaces de acumular concentraciones elevadas de metales pesados en raíces y partes aéreas (Alcorta, 2001; Rossana, 2004). Malkosky (2003) determinó una acumulación de plomo en las raíces de *Zea* maíz de 138 mg/kg.

Galardi (2007) descubrió que *Alyssum bertoloni* contiene 20 mg Ni/kg, además Monterroso (2006) detectó que *Altermanthera phylogedoides* acumula concentraciones en sus partes aéreas de 30 por ciento en peso. Dos características generales de las especies hiperacumuladoras son su lento crecimiento y limitada producción de biomasa. Por estas razones, las investigaciones recientes se enfocan a especies tolerantes a metales pesados y altas productoras de biomasa. Los pastos han sido utilizados en pruebas experimentales con resultados satisfactorios en la descontaminación de suelos con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

II.7. Características generales de las plantas objeto de estudio tabaco moruno (*Nicotiana glauca*, sardinillo amarillo (*Tecoma stans*) y penacho amarillo (*Alyssum murale*).

La mayoría de plantas bioacumuladoras de metales pesados, a través de millones de años han desarrollado mecanismos de sobrevivencia, por ejemplo, son tóxicas para sus depredadores y también son resistentes a una gran variedad de enfermedades y plagas. Las tres especies en estudio no son la excepción (Rzedowski, 2001).

Nicotina glauca, (Figura 2.1) se le conoce comúnmente como tabaco moruno, árbol del tabaco, palán y pertenece a la familia las *Solanáceas*.

Es nativa del noreste de Argentina. Llega a crecer hasta 5 metros de altura. A pesar de sus características, en muchas comunidades rurales de América Latina se emplea como un tratamiento para el dolor de cabeza, cataplasmas en dolores reumáticos, cicatrización de heridas, entre otras. Las semillas normalmente germinan entre 10 y 20 días. Es una planta muy fácil de propagar porque puede ser por gajos o por semillas. Se desarrolla en lugares desérticos y semidesérticos (Martínez, 1979).

Alyssum murale, (Figura 2.2) comúnmente se le conoce como mechón amarillo, es una herbácea perene, pertenece a la familia *Brassicaceae*. Es originaria del sureste de Europa. Llega a crecer en promedio a una altura de 2 metros. La época de floreo es de mayo a julio, las flores son amarillas, crece en suelo rocoso bien drenado y en suelos pobres en nutrientes, se reproduce a partir de semillas muy pequeñas. Necesita poco mantenimiento, no tiene problemas con insectos u otras enfermedades y plagas.

Tecoma stans, (Figura 2.3) cuyo nombre más común es trompeta de oro, también se le conoce como sardinillo amarillo. Pertenece a la familia de las *Bignoniáceas*. Es originaria de América central, es un arbusto que llega a medir 8 metros de altura, follaje abundante, produce flores amarillas en forma de embudos. Puede soportar temperaturas hasta de menos 4 °C, las semillas que produce se encuentran en vainas de color café, que cuando se secan se

abren con facilidad para desprender las semillas, éstas son capaces de germinar y crecer con facilidad en lugares semidesérticos y en suelos con deficiencia de nutrientes.



Figura 2.1 *Nicotiana glauca* (Maconí, Jun 2007)



Figura 2.2 *Alyssum murale* (Maconí, Jun 2007)



Figura 2.3 *Tecoma stans* (Maconí, Jun 2007)

En base en dos aspectos importantes, la revisión bibliográfica y las características observables del sitio de estudio (antecedentes, suelo contaminado, presa de jales y plantas que se desarrollan), se planteo la siguiente hipótesis.

III. HIPÓTESIS

La bioacumulación de plomo y cadmio en las plantas *Alyssum murale*, *Tecoma stans* y *Nicotiana glauca* las identifica como fitorremediadoras de suelos contaminados por residuos mineros.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la bioacumulación de plomo y cadmio en *Alyssum murale*, *Tecoma stans*, y *Nicotiana glauca*, mediante absorción atómica de flama para identificar las plantas como fitorremediadoras.

Objetivos específicos

1. Caracterizar fisicoquímicamente el suelo contaminado (pH, materia orgánica, densidad, textura, plomo y cadmio por absorción atómica de flama).
2. Cultivar las tres especies de plantas (*Alyssum murale*, *Tecoma stans* y *Nicotiana glauca*) a nivel laboratorio, y utilizando suelo con residuos mineros.
3. Identificar las plantas fitorremediadoras, mediante la jerarquización de las concentraciones de plomo y cadmio bioacumuladas.

V. METODOLOGÍA

V.1. Caracterización del suelo contaminado por jales

El muestreo de suelos y vegetales se realizó en la presa de residuos mineros localizada en la comunidad de Maconí, en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, donde aún se realizan actividades mineras. En la Figura 3.1 se muestra la presa de jales que se encuentra aproximadamente a 100 metros de la mina. Para conocer la variación de la concentración, de plomo y cadmio en el suelo con respecto a la distancia, se localizaron seis puntos de muestreo equidistantes 25 metros y alejándose de la presa de jales (NMX-AA-132-SCFI-2006). Debido a que los vientos dominantes que pueden transportar estos contaminantes se encuentran orientados hacia la comunidad de Maconí, localizada aproximadamente a 2000 metros de la presa. En cada punto de muestreo se tomaron tres muestras de suelo de 250 g, a 20 cm de profundidad y aproximadamente un metro de separación. Las muestras se etiquetaron y se guardaron en bolsas de polietileno, herméticamente cerradas, para la posterior determinación de los demás parámetros que se hicieron por triplicado.

V.2. Determinación de parámetros

Determinación de la densidad.

Se tamizaron 100 g de suelo por una malla número 40 para retirar la materia gruesa y se secó a 90 grados centígrados (°C) hasta el retiro completo de la humedad. En un mortero de ágata se hizo la molienda hasta que se tamizó por una malla número 200. Un matraz volumétrico de 25 ml previamente pesado se llenó hasta el aforo con el suelo y se pesó nuevamente, la diferencia de masas correspondió a la masa del suelo. La densidad se calculó con la fórmula siguiente: densidad = masa / volumen.



Figura 3.1. Presa de residuos mineros en Maconí Cadereyta de Montes, Qro.

Medición del pH método potenciométrico

Se pesaron 10 gramos de suelo y se colocaron en un vaso de precipitados de 25 ml. Se adicionaron 10 ml de agua desionizada, se agitó y se dejó reposar 10 minutos. Se midió el pH con el potenciómetro previamente calibrado con soluciones reguladoras.

Determinación de materia orgánica (método gravimétrico)

Se utilizó el método gravimétrico, se pesó un gramo de suelo en un crisol de porcelana previamente tarado y se colocó en un horno de calcinación a 550 °C durante 30 minutos. Se enfrió en el desecador durante media hora y se pesó, se repitió el procedimiento hasta que se obtuvo peso constante. El por ciento de peso perdido, correspondió al por ciento de materia orgánica en el suelo.

Análisis granulométrico

Se colectó una muestra de 250 gramos en cada punto de muestreo a 25 cm de profundidad. Se determinaron los porcentajes en peso de las fracciones de arena, limo y arcilla, siguiendo el método propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), por sus siglas en inglés. Se realizó un pretratamiento con agua oxigenada para la eliminación de la materia orgánica y, posteriormente, un tratamiento con hexametofosfato de sodio al 5% para destruir los agregados. La fracción de arena se determinó mediante el tamizado en húmedo y las fracciones de arcilla y limo se separaron por sedimentación siguiendo el método de la Pipeta de Robinson. La textura se determinó mediante el triangulo textural según el sistema de la USDA.

V.3. Cuantificación de plomo y cadmio en suelo

El proceso de análisis se realizó en dos etapas, la primera es la digestión, en la que se solubilizaron los componentes de la muestra y en la segunda, se cuantificó el plomo y el cadmio en el extracto obtenido por medio de ácido nítrico.

Digestión de muestras de suelo (método EPA 7420)

Se pesaron 0.25 g de suelo tamizado y seco. Se colocaron en un vaso del horno de microondas MARXS modelo 907501: A cada vaso se le adicionó 6 ml de ácido nítrico grado espectrométrico. Se aplicaron 800 watts (W) de potencia y se programaron 4 rampas de temperatura. La primera de 25 a 60 °C de temperatura durante 10 minutos. La segunda de 60 hasta 100 °C donde se mantuvo por 5 minutos y la tercera de 100 hasta 150 °C donde también se mantuvo por 5 minutos y finalmente de 150 hasta 190 °C donde se mantuvo por 15 minutos. Se filtraron con papel whatman número 40 y se aforó con ácido nítrico en un matraz volumétrico de 25 ml.

La cuantificación de plomo y cadmio en suelo se llevó cabo en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama modelo AAnalyst 300, previamente calibrado con materiales de referencia certificados con trazabilidad NIST (National International Standard Technology). Las condiciones de operación utilizadas del equipo de absorción atómica, y las concentraciones de los estándares utilizados para su ajuste se encuentran en el anexo (Benavides, 2006).

V.4. Determinación de bioacumulación de plomo y cadmio en plantas colectadas en sitio

Muestreo de plantas

Para determinar la concentración de plomo y cadmio absorbidos por las especies en estudio con respecto a la distancia de alejamiento de la presa, se muestrearon cinco puntos a 25 metros equidistantes de alejamiento de la presa de jales y en dirección de los vientos dominantes. Se colectaron cinco individuos completos de cada una de las tres especies de mayor abundancia (*Nicotiana glauca*, *Tecoma stans* y *Alyssum murale*) y se colocaron en bolsas de papel, previamente etiquetadas, (Puga y col. 2006) haciendo un total de 75 muestras. Las partes se lavaron con agua tridestilada para retirar completamente la tierra y polvo, se secaron completamente en una estufa a 80 °C, durante una hora, hasta que se evaporó la humedad. La molienda del material se realizó en un mortero de ágata hasta obtener muestras pulverizadas que tamizaron en una malla No. 200; esto permitió mejorar la digestión.

Digestión de muestras vegetales (EPA 3051)

La digestión de las plantas se realizó pesando 0.25 g de muestra limpia, tamizada y seca. Cada muestra se introdujo en un vaso X Press del horno de microondas MARXS modelo 907501, a cada vaso se le adicionó 6 ml de ácido nítrico grado espectrométrico. Se aplicaron 1600 W de potencia, con una rampa de temperatura de 25 hasta 190 °C en un tiempo de 25 minutos. Se filtró con papel whatman número 40 y se aforó con ácido nítrico a 25 ml en un matraz volumétrico.

La cuantificación de la bioacumulación de plomo y cadmio en las plantas se llevó cabo en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama modelo AAnalyst 300, previamente calibrado con materiales de referencia certificados con trazabilidad NIST (National International Standard Technology).

Las condiciones de operación y las gráficas de calibración (Figuras A1 y A2) utilizadas en el equipo de absorción atómica están en el anexo.

V.5. Determinación de la bioacumulación de plomo y cadmio en plantas a nivel laboratorio

Se recolectaron semillas del sitio de estudio, se hizo un almacigo en macetas con suelo libre de contaminantes y rico en materia orgánica. Al cabo de 15 días se trasplantaron cinco ejemplares, uno en cada maceta con un kilogramo de jales, cada plántula con su respectivo control (planta sembrada en suelo sin contaminación). Las macetas se colocaron en un invernadero con condiciones controladas (25°C) de temperatura y 60 por ciento de humedad relativa) en el Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental (CEACA) de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Durante cinco meses se regaron cada tercer día con 250 ml de agua de la red municipal. Mensualmente se determinó el contenido total de plomo y cadmio bioacumulados en cada una de las tres especies mediante absorción atómica, de la misma forma que se hizo con las plantas colectadas en el sitio. Se hizo un análisis de varianza, donde las variables de respuesta fueron las concentraciones de cadmio y plomo en cada especie y considerando como tratamientos los meses 1, 2,3, 4 y 5 (Miller, N. 2002), se realizó una prueba de medias para las variables que resultaron significativas (ANOM para distribución normal) a un nivel de significancia $p < 0.05$, en un programa estadístico MINITAB versión 14.0.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo

La Figura 6.1 presenta la variación de la densidad del suelo con respecto a la distancia en los puntos de muestreo. Se observa que este parámetro es mayor en el punto más cercano a la presa porque ahí existe una mayor concentración de plomo (178 mg/kg) y cadmio (35 mg/kg), como lo muestran las (Figuras 6.2 y 6.3).

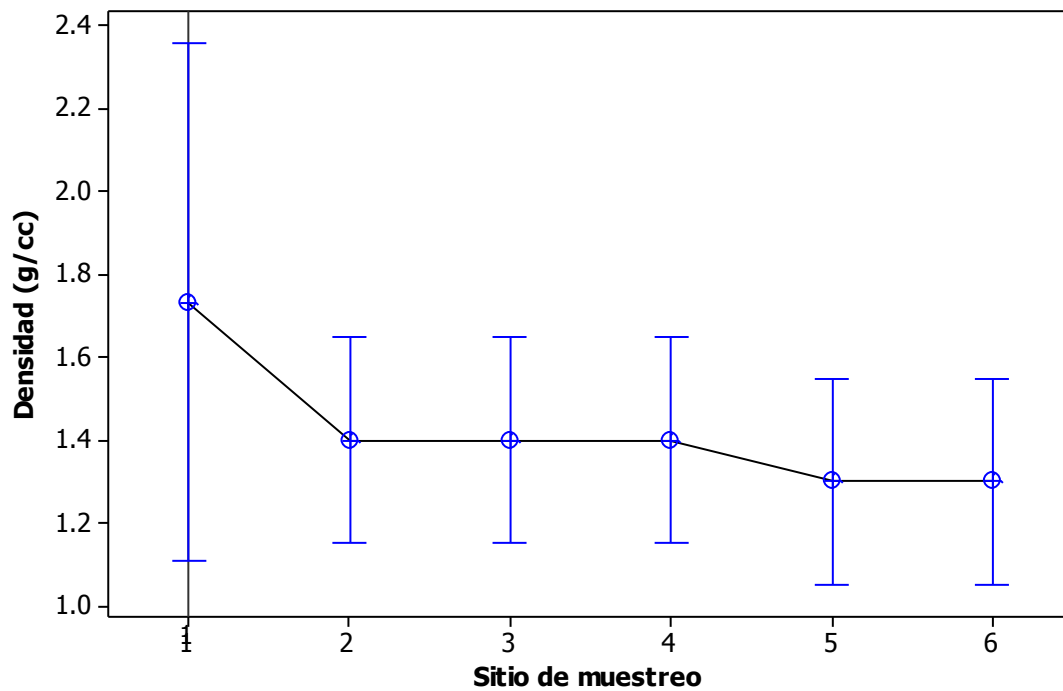


Figura 6.1 Densidad del suelo contaminado en cada punto de muestreo.

(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

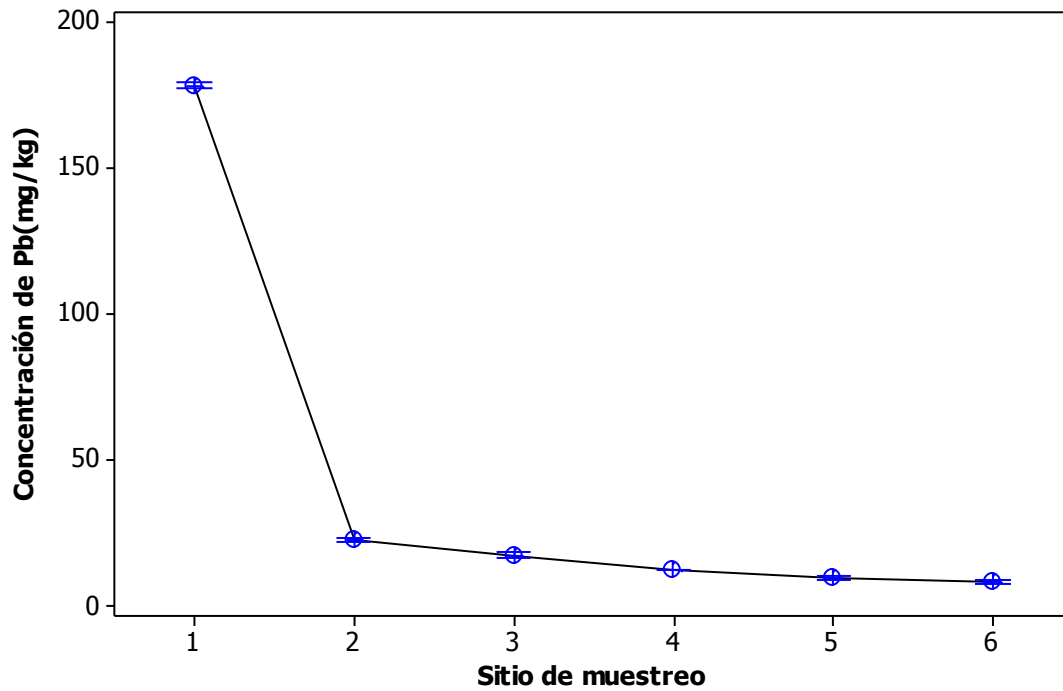


Figura 6.2 Concentración de plomo del suelo contaminado en los puntos de muestreo.

(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

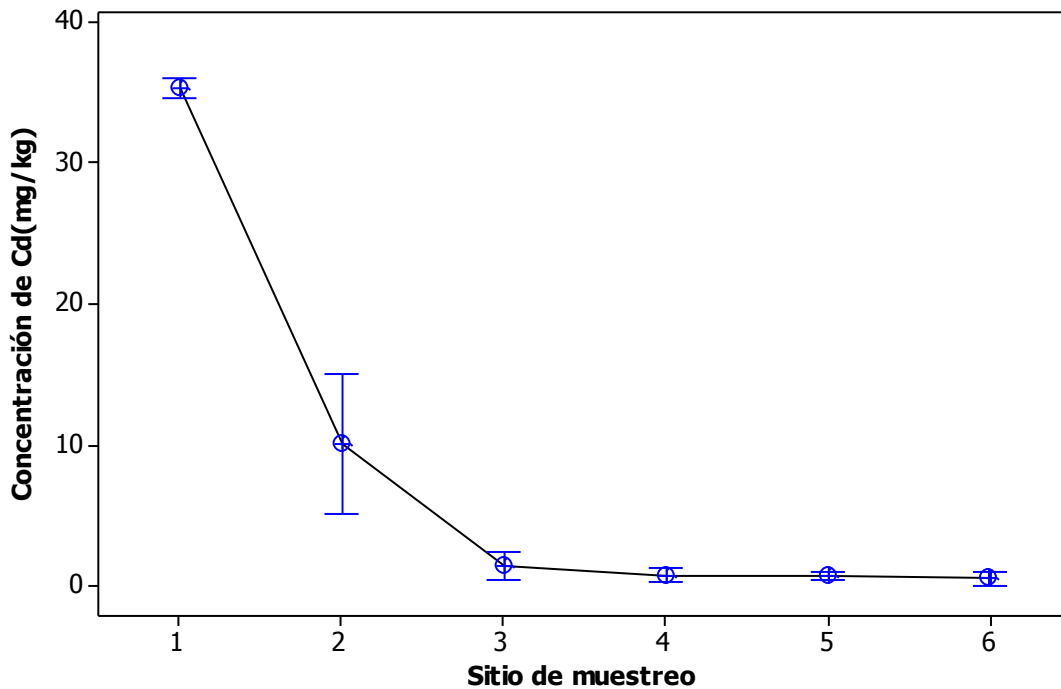


Figura 6.3 Concentración de cadmio del suelo contaminado en los puntos de muestreo.

(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

En la Figura 6.4 presenta la variación del pH con respecto a la distancia de toma de muestra. Se puede observar un incremento en el pH mientras se aleja del sitio de jales. Además es ligeramente ácido en los puntos más cercanos a la presa. Esto puede ser, debido a reacciones entre algunos anhídridos y el agua para formar ácidos y favorecer la solubilidad de compuestos de cadmio y plomo.

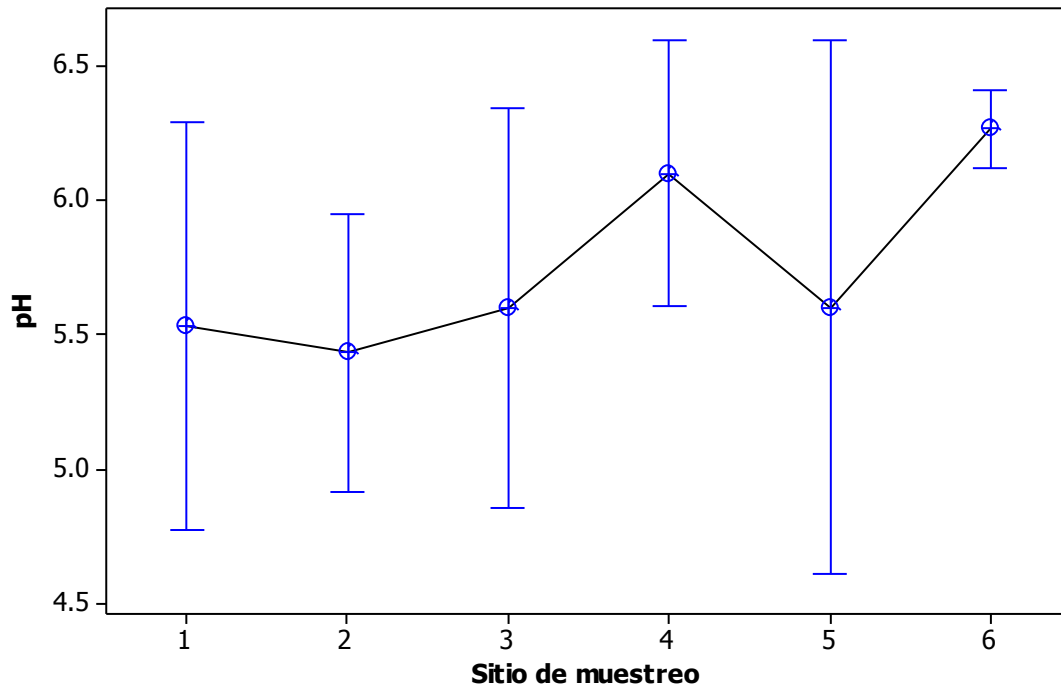


Figura 6.4 pH del suelo contaminado en cada punto de muestreo.
 (Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

La Figura 6.5 pone de manifiesto que el contenido de materia orgánica es en promedio de 2.4 por ciento en el punto 1. Se demuestra porque en ese punto no se observaron plantas de ninguna especie, debido a la composición y concentración de sustancias tóxicas contenidas en la presa.

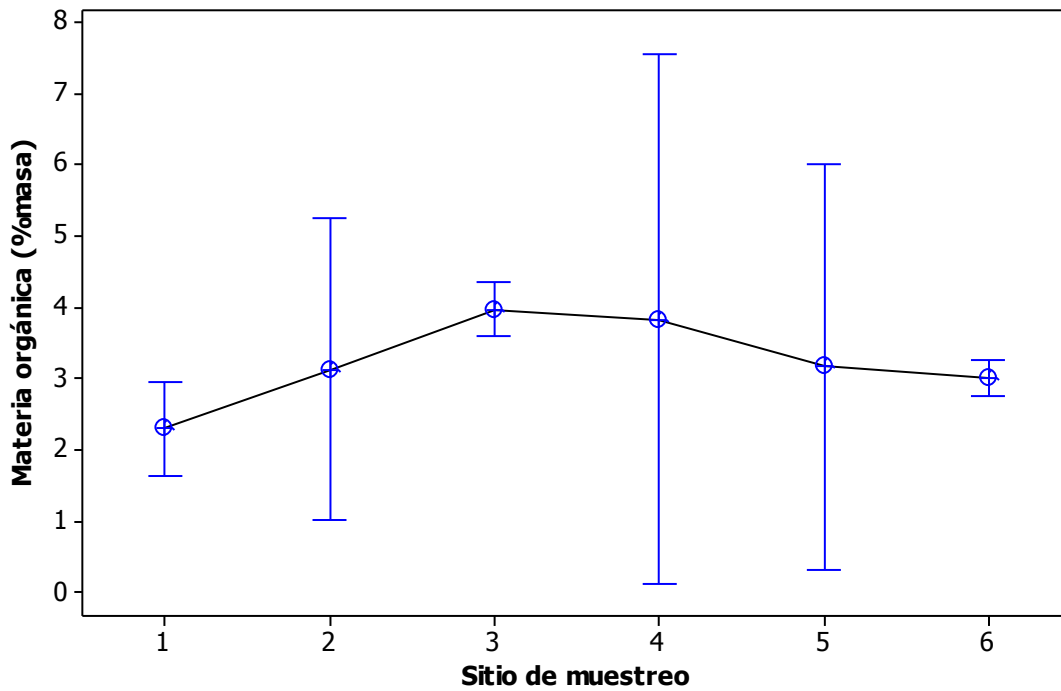


Figura 6.5 Materia Orgánica del suelo contaminado colectado en los puntos de muestreo del sitio

(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

El cuadro 6.1 presenta la textura del suelo en los puntos de muestreo, se observa que el contenido de arena en el punto 1 es el más alto y por lo tanto el tiempo de retención del agua debe ser mínimo, esto puede permitir que los contaminantes solubles se infiltren hacia el subsuelo.

Cuadro 6.1 Textura del suelo contaminado colectado en cada punto de muestreo.

Parámetro	Punto1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Promedio
%Arena	82	80	77	80	65	62	74
% Limo	12	12	11	5	12	8	10
%Arcilla	6	8	12	15	23	30	16

Resultados de la bioacumulación de Pb y Cd en plantas colectadas en el sitio

En las figuras 6.6, 6.7 y 6.8 se puede observar una disminución en la bioacumulación de plomo de las tres especies a medida que aumenta la distancia de alejamiento a la presa de jales.

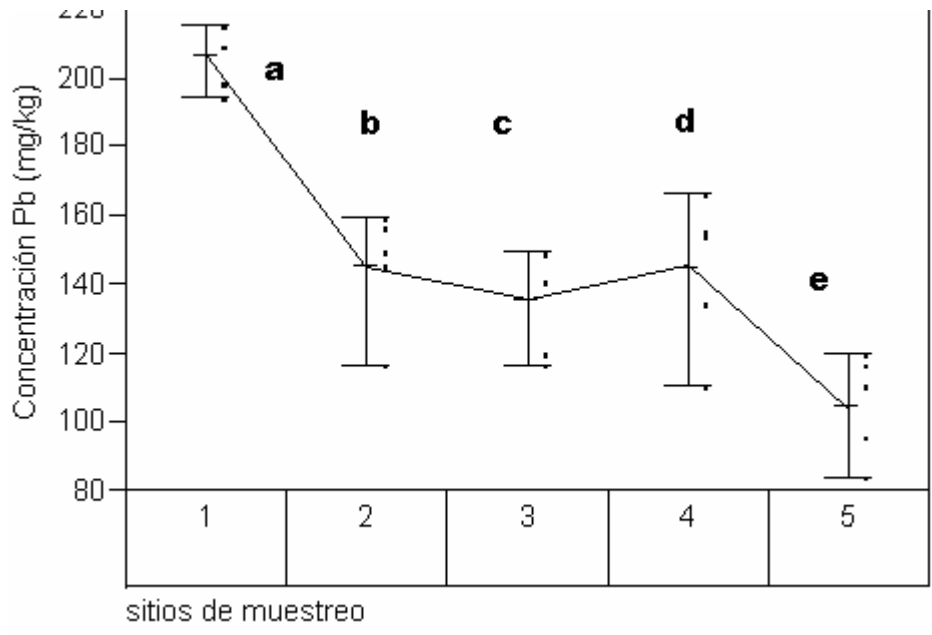


Figura 6.6 Bioacumulación de plomo de *Tecoma stans* colectada en los puntos de muestreo del sitio

(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

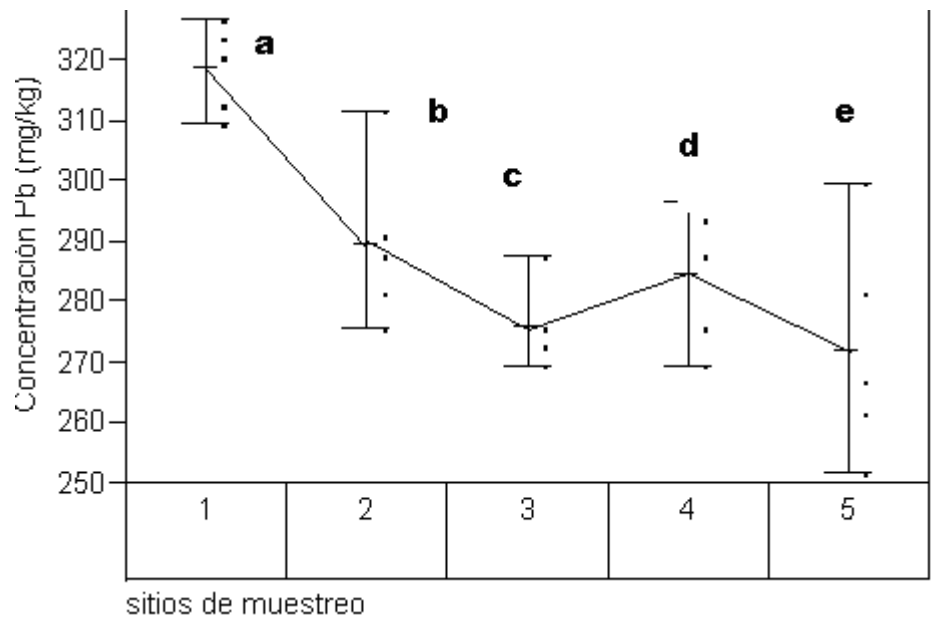


Figura 6.7 Bioacumulación de plomo de *Nicotiana glauca* colectada en los puntos de muestreo del sitio. (Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

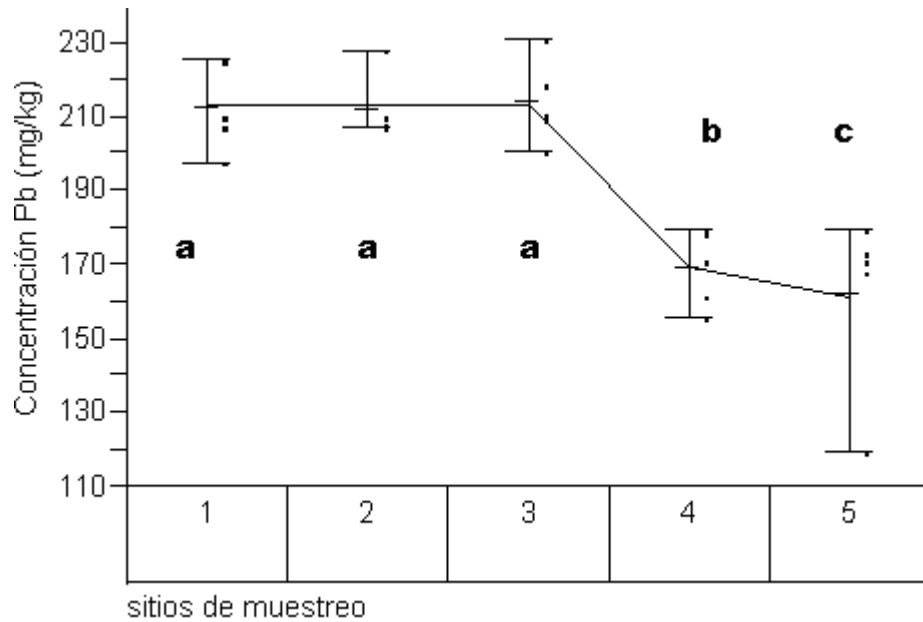


Figura 6.8 Bioacumulación de plomo de *Alyssum murale* colectada en los puntos de muestreo del sitio

(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

La Figura 6.9. Presenta la bioacumulación de cadmio en *Nicotiana glauca*, se observa que en el punto 1 la extracción de cadmio por esta especie es notoriamente mayor que en las demás.

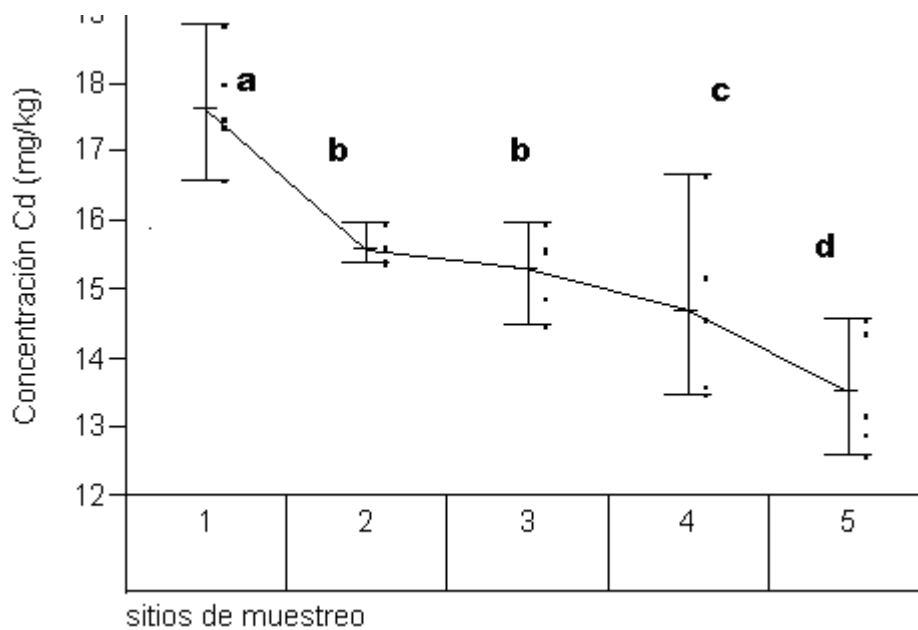


Figura 6.9 Bioacumulación de cadmio de *Nicotiana glauca* colectada en los puntos de muestreo del sitio

(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

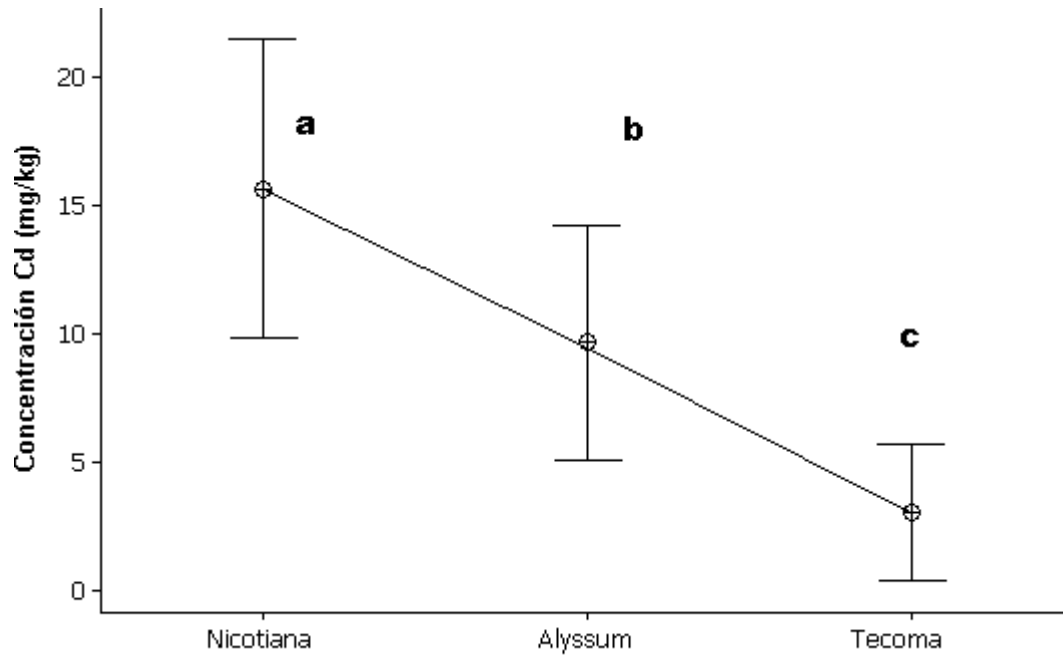


Figura 6.10. Bioacumulación de cadmio por especie durante 5 meses.
(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

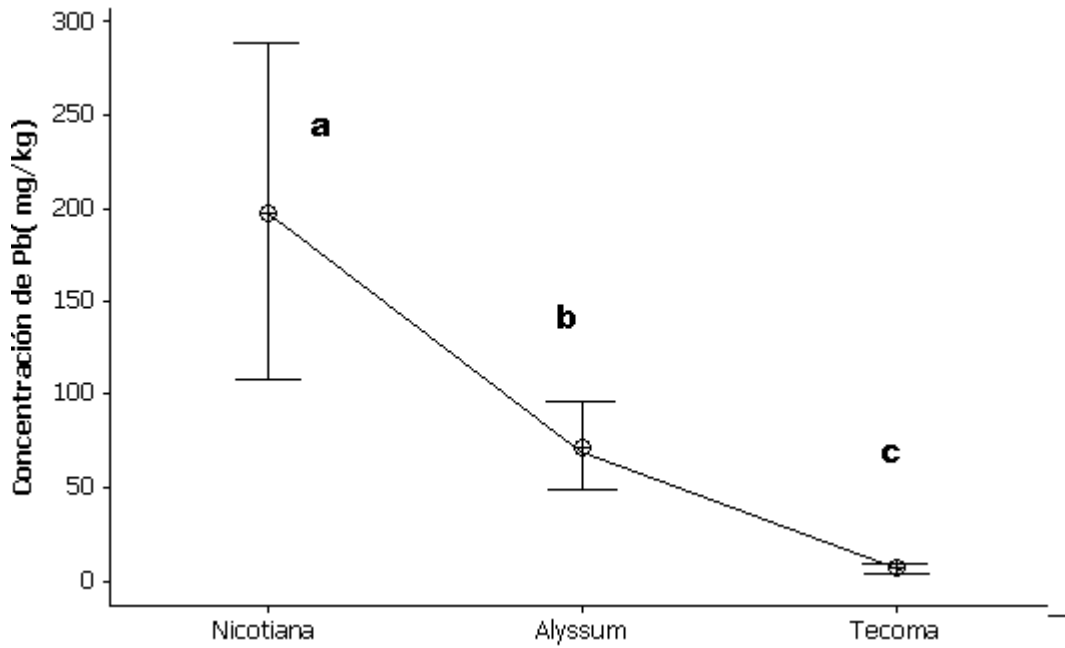


Figura 6.11. Bioacumulación de plomo por especie durante 5 meses.

(Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

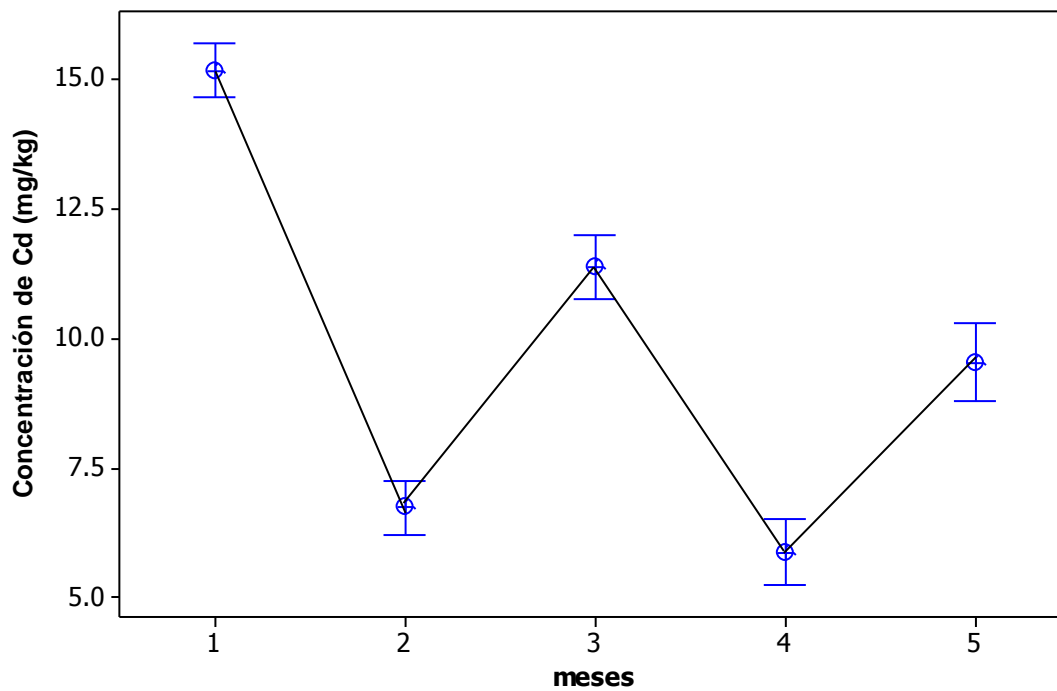


Figura 6.12 Bioacumulación de cadmio por *Nicotiana glauca* a nivel laboratorio (Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

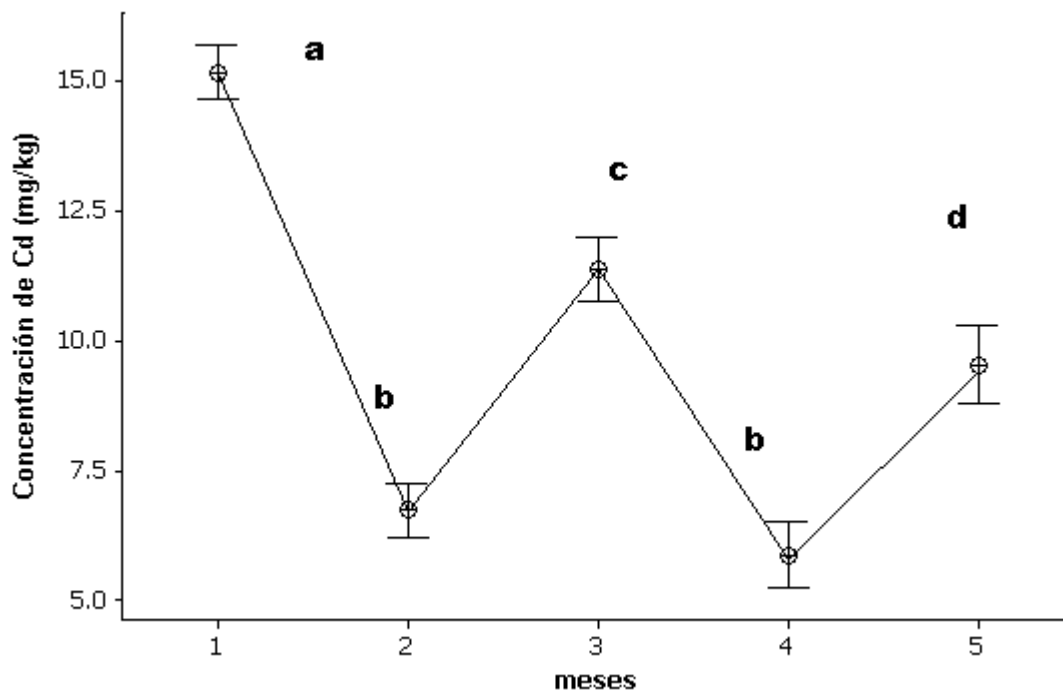


Figura 6.13 Bioacumulación de cadmio por *Alyssum murale* a nivel laboratorio (Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

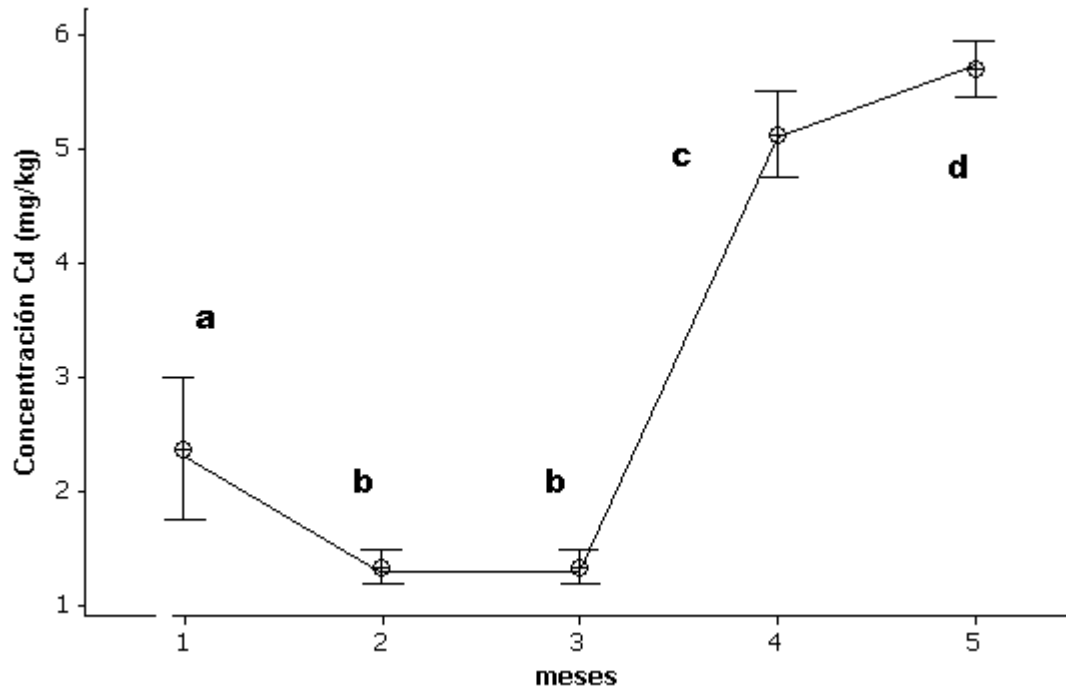


Figura 6.14 Bioacumulación de cadmio por *Tecoma stans* a nivel laboratorio (Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

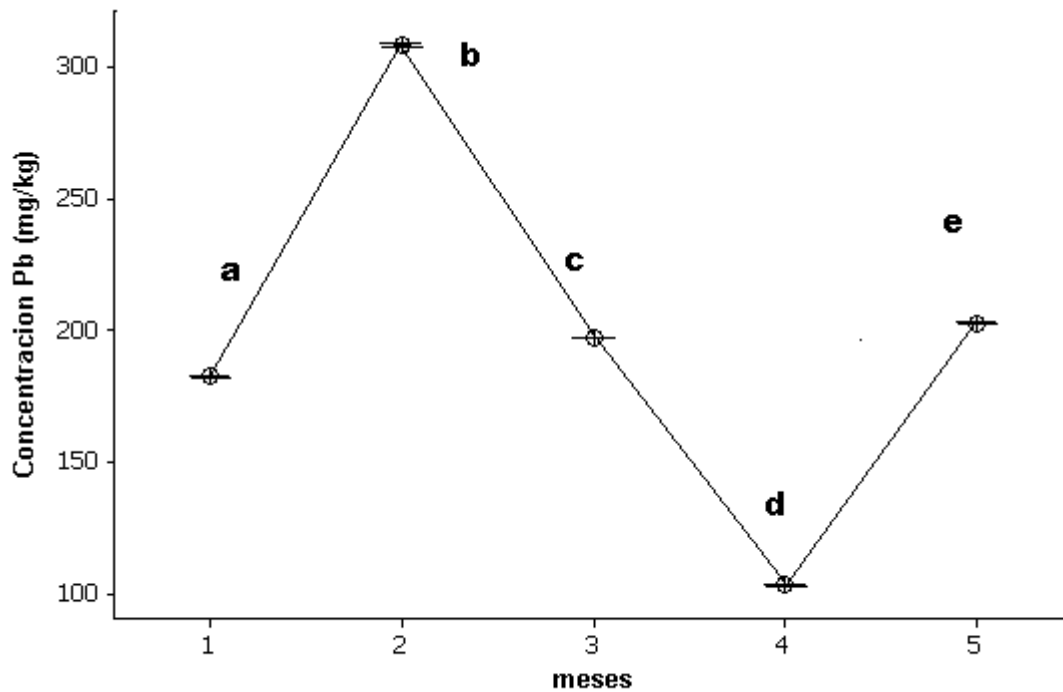


Figura 6.15 Bioacumulación de plomo por *Nicotiana glauca* a nivel laboratorio (Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

En las gráficas 6.15,6.16 y 6.17 se observa que en las 3 especies que se cultivaron en laboratorio la máxima bioacumulación de plomo se obtiene en los dos primeros 2 meses.

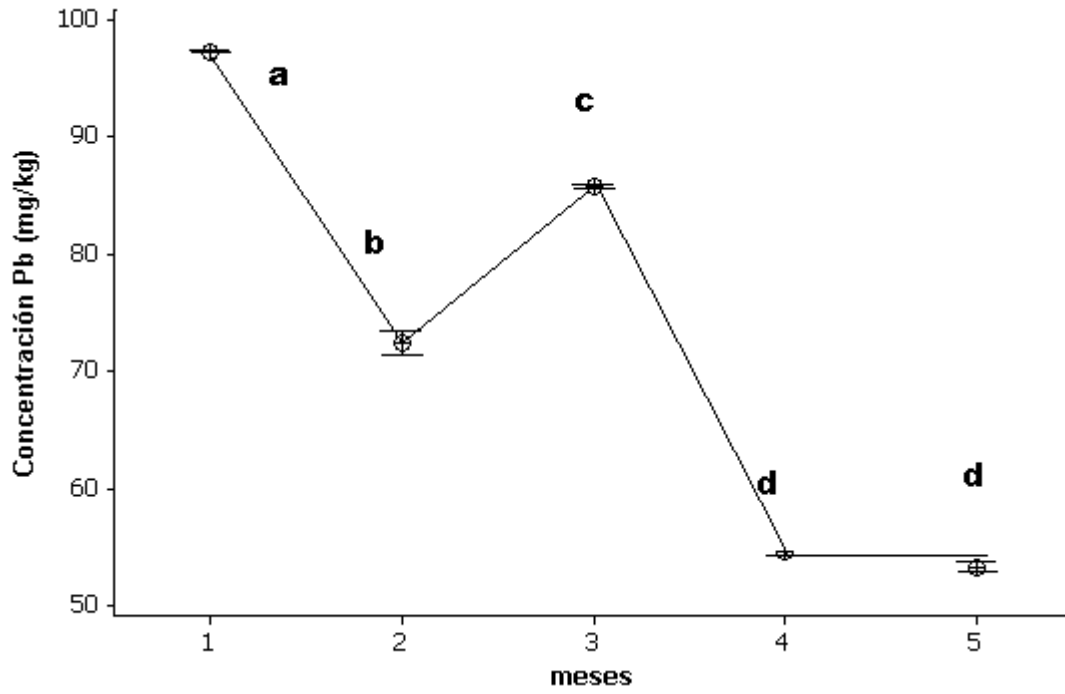


Figura 6.16 Bioacumulación de plomo por *Alyssum murale* a nivel laboratorio (Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

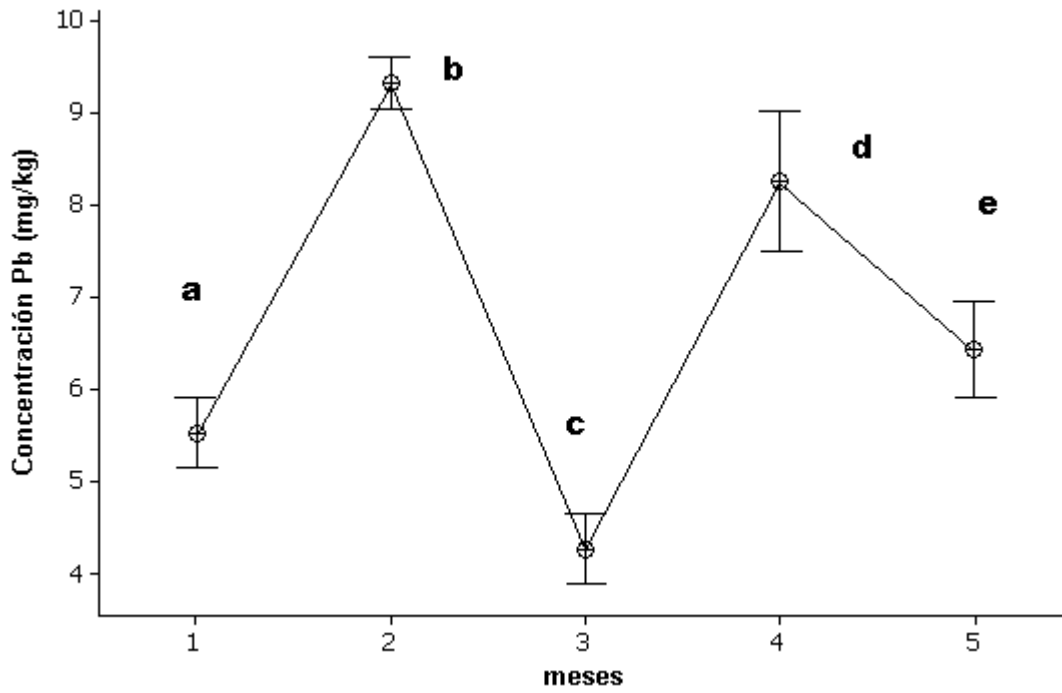


Figura 6.17 Bioacumulación de plomo por *Tecoma stans* a nivel laboratorio (Letras diferentes muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05)

VII. CONCLUSIONES

Las concentraciones promedio que se encontraron de plomo y cadmio en el suelo cumplieron con la normatividad mexicana.

El pH, la textura y sus demás características del suelo mostraron que estos metales se encuentran biodisponibles.

La acidez y la escasa cantidad de materia orgánica del suelo pueden aumentar la absorción de plomo y cadmio.

Las tres especies de plantas *Tecoma Stans*, *Alyssum murale* y *Nicotiana glauca* pueden ser consideradas como bioacumuladoras de plomo y cadmio en base al criterio de Brooks

La bioacumulación de plomo y cadmio en las tres especies de plantas se ve favorecida en los puntos del suelo donde existen mayores concentraciones de plomo y cadmio.

Estas plantas bioacumuladoras constituyen una alternativa para resolver problemas relacionados con la contaminación y la eventual recuperación de suelos contaminados por metales pesados.

La salud humana, sobre todo para la comunidad de Maconí, en particular y para todo el ecosistema en general, puede estar en riesgo; debido a que estos metales pueden incorporarse a las cadenas alimenticias, o afectar los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

El tiempo y la concentración de metales pesados en el suelo son limitantes para aplicar esta tecnología, porque requiere más de 10 años para remediar suelos contaminados con estas concentraciones.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Adriano, D. (2001).** *Trace Elements in terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risk of Metals.* p.866. 2^a Ed. New York. Springer – Verlag publishers USA.
- Alkorta, I. (2004).** Recent findings on the Phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Environmental science and biotechnology.* Vol. 3: 71-90.
- Altamirano, M. (1999).** *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.* Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires Argentina.
- Anderson, T., Guthrie, E. (1993).** Bioremediation in the rizosphere. *Environmental Science Technology.* Vol. 13: 234-245.
- Andrew, A. (2005).** Mechanisms of plant resistance to metal and Metalloid ions and potential Biotechnological Application. *Plant and Soil.* Vol.174:163-174.
- Antiocha, R. (2007).** The use of vetiver for remediation of heavy metal soil contamination. *Analyst Bioanalytical chemistry.* Vol. 388: 947-956.
- Archer, M. (2004).** Response of six Australian Plant Species to Heavy Metal Contamination at an Abandoned Mine site. *Water, Air, and Soil Pollution.* Vol.157: 257- 267.
- Asagba, (2005).** A comparative evaluation of the biological effects of environmental cadmium-contaminated control diet and laboratory-cadmium supplemented test diet. *Biometals.* Vol.18:155-161.
- Baker, D. (1980).** *Fenómenos de Transporte en las plantas.* Ed.Omega, Barcelona, España. 27-28.
- Barceló, J., Nicolás, G. (1980)** *Fisiología Vegetal.* Ediciones Pirámide,S:A: Madrid, España.
- Becerril, J. (2007).** Especies nativas en suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Revista científica y técnica en Ecología y Medio Ambiente.* Vol. 2: 1-10

- Benavides, A., Magdaleno, B. (2006).** Determinación Espectrofotometría de Plomo en plantas. Boletín de Mineralogía. Vol.17: 91-93.
- Brooks, R. (1999).** *Plants that Hyperaccumulate Heavy metals*. Ed. Cab International, USA.
- Cabrera, T. (2004).** Heavy metals pollution in soils of the Guadiamar river valley Integrated Assessment and Management of the Ecosystems Affected by the Aznalcóllar Mining SIPI (SW, Spain). Vol. 89: 43-56.
- Calderón, J. (2003).** Human exposure to metals pathways of exposure, biomarkers of effect, and host factors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 56: 93-103.
- Carpena, R., Pilar, B. (2007).** Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*. Vol. 2: 32-48.
- Castañe, M. (2003).** Influencia de la especiación de los metales pesados como determinante de su toxicidad. *Revista Toxicología*. Vol. 20:13-18.
- Casteel, S. (1997).** Bioavailability of lead in soil from the Smuggler Mountain site of Aspen, Colorado. *Fundamental. Application. Toxicology*. Vol. 36: 177-187.
- Chaney, (2000).** Effects o metal phytoextraction practices on the indigenous community of arbuscular mycorrhizal .*Microbiology*. Vol. 66:256-2530.
- Chao-yang, W. (2006).** Arsenic Acumulation by two brake ferns growing on an arsenic mine and their potencial in Phytoremediation. *Chemosphere*. Vol. 63: 1048-1053.
- Cho-Ruk, K. (2006).** Perennial Plantas in the Phytoremediation of Lead-contaminated Soils. *Biotechnology*. Vol. 51: 1-4.
- Csurus, J., Dooley, M. (2002).** The Ecology of Fungi in Certain Habitats. *Plant and Soil*. Vol. 32:142 -151.

- Diaz-Barriga, F. (1999).** Un Método para la Evaluación de Riesgos para la Salud en Zonas Mineras. *Salud Pública en México*. Vol. 40: 132-140.
- Diez, M. (2007).** weathering of primary minerals and mobility of mayor elements in soils affected by an accident spill of pyrite tailing. *Science of the total Environmental* .Vol. 78: 49 .52.
- Dorronsoro, C. (2007).** Weathering of Primary Mineral Andmobility of Mayor Elements in Soils Affected an Accidental Spill of Pyrite Mailing. *Science of the Total Environment*.Vol. 378: 49-52.
- Eissa, B. (2003).** Evaluación Toxicológica no invasiva del cadmio: modificaciones de biomarcadores conductuales en *Cyprinu Carpio*. *Biología Acuática*. Vol. 20: 55-63.
- Eric, D. (2005).** Developments in bioremediation of soils and sediments polluted with metals and radionuclides. *Environmental Science and Biotechnology*. Vol. 4:185-212.
- Grimalt, (1999).** The Environmental Impact of the Mine Tailing Accident in Aznalcóllar. *Science of theTotal Environmental*. Vol. 242: 1-337.
- Gutierrez, M., Romero, F., Gonzalez, G. (2007).** Suelos y sedimentos afectados por la dispersion de Jales inactivos de sulfuros en la zona minera de Santa Barbara. Chihuahua, México. *Revista Mexicana deCiencias Geologicas*, Vol. 24:170-184.
- Hernández, L. (2001).** *Historia ambiental de la ganadería en México* .Instituto de Ecología, mexico.
- Ivana, K.(2003).** Accumulation of Heavy metals by *in Vitro* Cultures of Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 3: 269 -276.
- Jensen, L. (2006).** Resistance and differential susceptibility of *Biden pilosa* and *B. Subalternan* Biotypes to Als-inhibiting Herbicides. *Science Agricultural*. (Piracicaba), Brazil. Vol. 63: 34-45.

Jin, Y. (2005). Variation in heavy metal contamination of stream Walter and groundwater affected by an abandoned lead-Zinc mine in Korea. *Environmental Geochemistry and Health*. Vol. 27: 237-257.

Kamaludeen, S. (2008). Rhizoremediation of Metals Harnessing Microbial Communities . *Indian Journal Microbiology*. Vol. 48 : 80 – 88.

Krämer, U. (2005). Phytoremediation: novel approach to clearing up polluted soil. *Current Opinion Biotechnology*. Vol.16: 141.

Kumar, R. (2007). Heavy metal concentration in water sediments and body tissues of red worm (*Tribifex spp.*) collected from natural habitats in Mumbai, India. *Environmental Monitoring Assessment*. Vol. 129: 471-481.

Lagrega, M. (1996). *Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos*. Ed. Mc Graw Hill.

LEGEEPA. (2004). Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y Leyes Complementarias .Ediciones Delma, México: 33- 78.

Liu, Y. (2005). Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill. *Sciences Total Environment*. Vol. 3: 53-166.

Lombi, F., Zhao, S., Dumham, S., Mc Grath, P. (2001). Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation Versus Chemically Enhanced Phytoextraction. *Environmental Quality*. Vol. 30: 1919-1926

López, S., Gallegos, M., Pérez, J., Gutierrez, M. (2005). Mecanismos de Fitorremediación de Suelos Contaminados con Moléculas Orgánicas Xenobióticas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 21: 91-100.

Madejon, P. (2004). Elementos traza y nutrientes en plantas y suelos afectados por el vertido minero en Aznalcóllar Ecosistemas. Vol. 2: 113-130.

Manzanares, E. (2005). Evaluación de riesgos ambientales por plomo en la población de Vetagrande, Zacatecas. Universidad Autónoma de Zacatecas, México.

- Martínez, M. (1979)** *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Fondo de Cultura Económica, México, DF.
- Martínez, Y., Rivero, C. (2002)**. Evaluación de diferentes Métodos para determinar las fracciones de metales pesados presentes en el suelo. *Revista Ingeniería UC*. Vol.12: 14-20.
- Matthew, J. (2008)**. Investigating Heavy-metal Hyperaccumulation using *Thaspi caeurulescens* as a Model System. *Annals of Botany*.Vol. 102: 3-13.
- Mc Grath, S. (2001)**. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils: Natural hyperaccumulation versus Enhanced Phytoextraction. *Journal Environmental Quality*. Vol. 30: 1919-1926.
- Monterroso, C. (2003)**. Biodisponibilidad de metales en suelos de minas, cambios inducidos por el crecimiento de *Alyssum serpyllifolium ssp. Lucitanicum*. *Edafología*.Vol.10: 33-52.
- Medina, M. (2001)**. *Ecología y su relación con otras ciencias*. 6ª ed. Edit. Limusa, México.
- Medellín, P. (2003)**. Foro Nacional Sobre la Incorporación de la Perspectiva Ambiental en la Formación Técnica y Profesional. UASLP, México.
- Miller, N. (2002)**. *Estadística y Quimiometria para Química Analítica*. 4a ed. Prentice Hall, Madrid, España.
- Miller, G. (2002)**. *Ciencia Ambiental: preservemos la tierra*. 5a ed. Edit.Thomson.
- Muthanna, T, (2007)**. Heavy Metal Removal in Cold Climate Bioretention. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol.183: 391-402.
- NMX-AA-051. (1982)**. Determinación de metales por el método de espectrometría de Absorción Atómica, publicada en el Diario oficial de la Federación, México.
- NMX-AA-132-SCFI-(2006)**.Muestreo de suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides y Manejo de la muestra.

NOM-059 –SEMARNAT (2001). Norma Oficial Mexicana “Protección Ambiental- Especies nativas de México de Flora y Fauna silvestres-, categorías en riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio de lista de especies en riesgo” -

NOM-141-SEMARNAT (2004). Norma Oficial Mexicana, que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.

NOM-147-SEMARNAT-(2004). Norma Oficial Mexicana, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio.

Oleszuk, P. (2007). Polyaromatic Hydrocarbons in Rhizosphere soil of Different Plants: Effect of Soil Properties, Plant Species, and intensity of Anthropogenic Pressure. *Soil Science Plants Analysis*, Vol.38, 171-188.

Olga, V. (2006). Cadmium Concentration and Subcellular Distribution in Organs of the Mussel *Crenomytilus Grayanus* from Upwelling Regions of Okhotsk Sea and of Japan. *Environmental Contamination and Toxicology*. Vol.51:567-572.

Pineda, H.(2004). Presencia de Hongos Micorrizicos Arbusculares y Contribución de *Glomus Intrarandices* en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol(*Helianthus Annus L*) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina. Tesis para Obtener el grado de Doctor en ciencias en la Universidad de colima, México.

Prabha, K. (2007). Phytoremediation Technology : Hyperaccumulation Metal in Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol.184: 105-126.

Programa de Investigación del Corredor Verde del Guadamar (1999-2002).

Edit. Junta de Andalucía, España. ISBN:84-89650-88-8. pp. 60-103

Puga, S. (2006). Concentraciones de As y Zn en vegetación nativa cercana a una presa de jales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 22: 75-82.

Reglamento de la LEGEEPA (2006). En materia de Áreas Naturales protegidas Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de noviembre de 2006.

Reglamento de la LEGEEPA (2004). En materia de Evaluación del Impacto Ambiental publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de noviembre de 2006.

Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Anales de la facultad de medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú. Vol. 63: 51-64

Reyes, R. (2006). Heavy Metals in Plants of Gold Mining Areas in Forest Reserve Imataca, Venezuela. Universidad, Ciencia y Tecnología. Vol. 10: 259-262

Rivera-Cruz, M. (2006). Fitorremediación de suelos con benzo (a) pirenomediante microorganismos autoctonos y pasto alemán *Echinochloa polystachia*. Universidad y ciencia. Vol. 22: 1-12.

Robinson, (2004). Uptake and Distribution of Nickel and other metals in the hiperaccumulator *Berkheya Coddii*. *New Phytologist* .Vol. 4: 279-285.

Rosanna, G. (2004). Metalófitas en América Latina: un recurso biológico y genético único poco conocido y estudiado en la región. *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol. 77:185-194. Republica de Chile

Rzedowski, G. (2001). *Flora fanerógama del valle de México*. 2ª ed. Instituto de Ecología para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán, México.

Sangabriel, W. (2006). Tolerancia y capacidad de fitorremediación de combustoleo en el suelo por sus especies vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 22: 63-73.

Sauquillo, A. (2003). Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments *Trends in Analytical Chemistry*. Vol. 25: 152-159.

Shibata, w. (2007). Phytoremediation of Pb contaminated soil with polymer-coated EDTA. *Plant and Soil*. Vol. 290: 201-208.

Spain, A. (2003). Implications of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. *Reviews In Undergraduate Research*. Vol. 321: 6-21.

Suyigama, M. (2007). Role of roots in differences in seed cadmium concentration among Soybean cultivars – proof by grafting experiment. *Plant and Soil*. Vol. 295: 1-11.

- Teocharopoulos, S. (2001).**; Wagner, G.; Sprengart, J.; Mohr, M.E.; Desales, A.; Muntau, H.; Christou, M.; *Quevauviller*, under the field conditions. *Chemosphere*. Vol. 55: 811-822.
- Valdés, F.(2003).** Caso de contaminación con Plomo. Revista."políticas ambientales en Uruguay. Vol. 35: 137-175
- Vasquez, A. (2001).** Cadmium, níkel and lead concentration in wastewater, soil and crops in the Mezquital Valley, Hidalgo, México. *Agrociencia* Vol. 35: 267
- Vibol, S. (2007).** Cadmium acumulation by *Axonopus pressus* rotundas Linn growing in cadmium solution and cadmium zinc contaminated soil. *Journal Science Technology*. Vol. 293 : 881-892.
- Volke, S. (2005).** Suelos Contaminados por metales y Metaloides, muestreo y alternativas para su recuperación S: y G. Editores, S:A: de C:V: México, D:F:ISBN 968-817-492-0
- Walter,R. (2003).** Phytoextraction capacity of trees growing on a metal contaminated soil. *Plant and Soil*. Vol.256: 265-272.
- Wang, F. (2000).** Heavy metal uptake by arbuscular mycorrhizas of *Elsholt splendens* and the potencial for phytoremediation of contaminated soil. *Soil and Contamination*. Vol. 8: 45-57.
- Wang, L. (1997).** Effect of salinity on growth ion content, and cell wall chemistry in *Atriplex prostate*. *American Journal of Botany* Vol.84: 1247-1255.
- Wang, X.P.; Shan, X.Q.; Zhang, S.Z.; Wen, B. (2004).** A model for evaluation of the phytoavailability of trace elements to vegetables. *Environmental Contamination and toxicology*. Vol. 89:47-62.
- Wong, (2003).** Regulatory Limits for Pesticida Recidues in water. *International Union of Pure and Applied Chemistry* . Vol. 75: 1123-1155.
- Zacchini, M (2008).** Metal Tolerante, Accumulation and Translocation in Poplar and Willow Clones Treated with Cadmium in Hydroponics. *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol.196: 150-158.
- Zagury, G. (2005).** Arsenic on Children´s Hands alfter playingin in playgrounds. *Environmental Health Perpectives* .Vol.8: 508-511.

IX. ANEXOS

Análisis de Cadmio (Cd) por Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama.

Método EPA 7130 "Cadmium (Atomic Absorption, Direct Aspiration)"

Parámetros del instrumento:

Lámpara de cátodo hueco: Cadmio.

Longitud de onda 228.8 nm

Combustible Acetileno

Oxidante Aire

Tipo de flama Oxidante

Flujo de combustible 2 l/min

Flujo de oxidante 10 l/min

Quemador 10 cm

Abertura de la rendija 0.7

Corrección de fondo Requerida

Preparación de soluciones estándar de calibración para ajustar el equipo.

Se utilizó una solución stock certificada con una concentración de 1000 mg/l de cadmio. Se preparó una serie de diluciones a partir de la solución stock para obtener concentraciones que cubran el rango óptimo de concentración. Los estándares de calibración se prepararon con el mismo ácido y en la misma concentración contenida en las muestras después del procedimiento de preparación.

Desempeño del método

Rango Dinámico Lineal: 0.05 – 2.0 mg/l para una longitud de onda de 228.8 nm

Sensibilidad 0.025 mg/l

Limites de detección 0.005 mg/l

Corrección de fondo Requerida

Análisis de (Pb) por Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama.

Método EPA 7130 "Lead (Atomic Absorption, Direct Aspiration)"

Parámetros del instrumento:

Lámpara de cátodo hueco: Plomo.

Longitud de onda 283.3 nm

Combustible acetileno

Oxidante aire

Tipo de flama oxidante

Flujo de combustible 2 l/min.

Flujo de oxidante 10 l/min.

Quemador 10 cm.

Abertura de la rendija 0.7

Corrección de fondo requerida

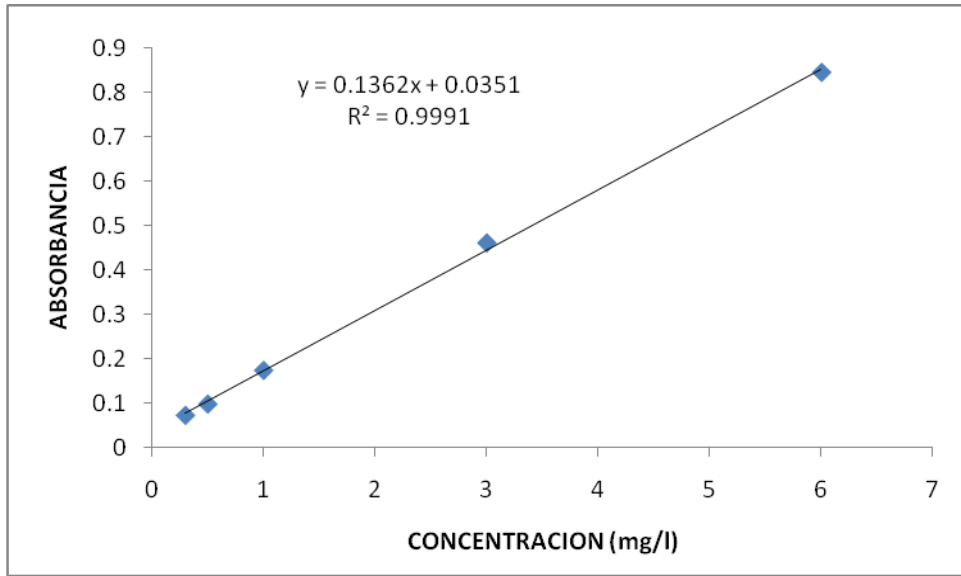


Figura A1. Curva de calibración para la determinación de cadmio en muestras de plantas.

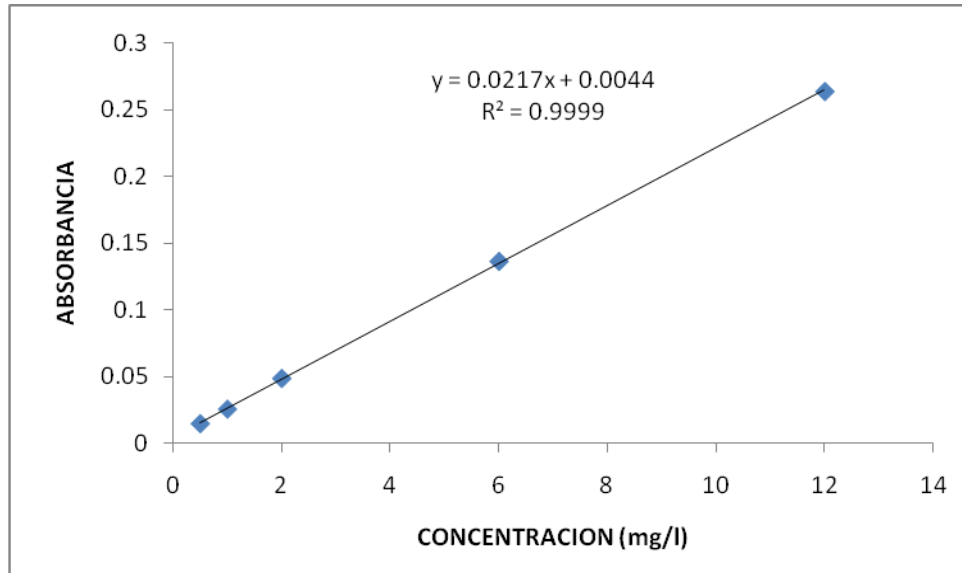


Figura A2. Curva de calibración para la determinación de plomo en muestras de plantas.

Limpieza de material

Procedimiento interno del centro nacional de metrología (CENAM) con número de referencia 600-AC-P01, para limpieza del material de vidrio de uso común.

Limpieza de material de vidrio de uso común.

El material de vidrio de uso común (vasos, matraces, probetas), se enjuagó cinco veces con agua desionizada, se llenó con una solución de ácido nítrico al 10 % v/v se tapó y dejó reposar 24 horas, después se vació y enjuagó nuevamente con agua desionizada y se dejó reposar 12 horas, se les retiró el agua y se secó en flujo laminar, se guardaron en bolsas de polietileno.

X. GLOSARIO DE TÉRMINOS

EDAFOLOGÍA. Ciencia que estudia lo relativo a los suelos principalmente de las plantas.

ADN ácido desoxirribonucleico

ALGAS. Son plantas, principalmente acuáticas, que viven tanto en agua dulce como en agua salada.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.

BIOACUMULABILIDAD. Característica que presentan algunas sustancias que no se disuelven ni se degradan.

BIODISPONIBILIDAD. Capacidad que tienen las sustancias de poder ingresar en los organismos vivos.

BIOGEOLÓGICO (A) Relativo a las diferentes formas de vida que existen o existieron en las formaciones geológicas.

BIOTA. Conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan una área dada.

CARCINOGENICO. Sustancia que por inhalación, ingestión, o penetración cutánea puede producir cáncer o aumentar su frecuencia.

CENAM Centro Nacional de Metrología

CNA Comisión nacional del agua

EDÁFICO(A). Relativo al suelo, principalmente de las plantas.

EPA (Environmental Protection Agency). Agencia para la protección del ambiente.

FACTOR DE BIOACUMULACION DE BROOKS. Porcentaje en masa de metal acumulado en una planta, este varía de acuerdo al metal en cuestión.

FACTOR DE BIOACUMULACIÓN PARA EL CADMIO = 0.01 por ciento en peso

FACTOR DE BIOACUMULACIÓN PARA EL PLOMO = 0.1 por ciento en peso

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FITOQUELATINAS. Polipéptidos que se sintetizan en respuesta a condiciones de estrés metálico y que están codificadas enzimáticamente.

FREÁTICO(A). Zona de saturación de las rocas permeables

HORIZONTES. Capas de suelo con diferentes espesores

JALES MINEROS. Residuos que resultan de la actividad minera cuya composición es variable y se distinguen por ser muy tóxicos.

MUCILAGOS Son un tipo de fibra soluble de naturaleza viscosa, la producen las semillas de ciertas plantas.

MUTAGÉNICO. Sustancia o agente físico que causa mutaciones, es decir, que altera de forma permanente el ADN de las células.

ORGANISMOS BÉNTICOS. Organismos que viven en la proximidad pero no sobre ni en el fondo marino.

RESIDUOS PELIGROSOS. Aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hallan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.

SEMARNAT Secretaria del medio Ambiente y recursos naturales.

TAMIZAR. Separar mediante un cedazo o malla diferentes tamaños de sólidos.

TERATOGENICO. Potencialmente dañino para el embrión o feto.

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia y la Cultura.



Figura A3 *Tecoma stans* cultivada en laboratorio.

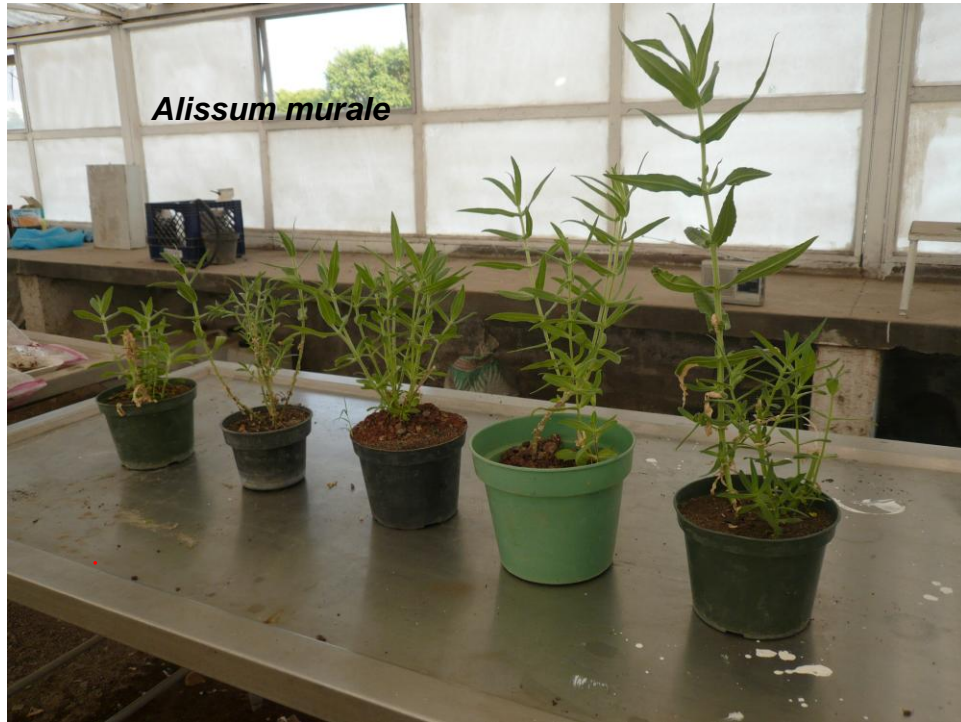


Figura A4 *Alyssum murale* cultivada en laboratorio



50

Figura A5. *Nicotiana glauca* cultivada en laboratorio