

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN SUELOS
ALEDAÑOS A MET-MEX PEÑALES Y RETENCIÓN
DE ESTE METAL EN *Ehretia tinifolia*.**

POR

MARÍA MARCIA JUÁREZ ALTUNAR

T E S I S

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN SUELOS ALEDAÑOS A
MET-MEX PEÑALES Y RETENCIÓN DE ESTE METAL EN
Ehretia tinifolia.**

TESIS DE LA C. MARÍA MARCIA JUÁREZ ALTUNAR QUE SE
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR
DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL: _____
DR. HECTOR MADINAVEITIA RIOS

COASESOR: _____
DR. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR

COASESOR: _____
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

COASESOR: _____
ING. JOEL LIMONES AVITIA

**M. C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS**

TORREÓN COAHUILA MÉXICO

MAYO DE 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN SUELOS ALEDAÑOS A
MET-MEX PEÑALES Y RETENCIÓN DE ESTE METAL EN
*Ehretia tinifolia***

TESIS DE LA C. MARÍA MARCIA JUÁREZ ALTUNAR, QUE SE
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR
DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE: _____
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL: _____
DR. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR

VOCAL: _____
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL SUPLENTE: _____
ING. JOEL LIMONES AVITIA

**M. C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS**

TORREÓN COAHUILA MÉXICO

MAYO DE 2008

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: Por darme la vida y por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida y me has dado esa energía, sabiduría y fuerzas para seguir adelante, gracias.

A UAAAN-UL: por abrirme sus puertas y haberme brindado la oportunidad de cursar la licenciatura y sobre todo por haberme formado como profesionista.

Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, por su enseñanza, tiempo y dedicación para la realización de esta tesis y por aceptarme en su proyecto de investigación.

También les agradezco a mis asesores de tesis al **Dr. Luis Javier Hermosillo Salazar, Dr. Mario García Carrillo, Ing. Joel Limones Avitia,** gracias por colaborar en este trabajo de investigación.

A la Q.F.B. Norma Lydia Rangel Carrillo, por su tiempo, paciencia y por haberme apoyado en el laboratorio.

Agradezco a todo el personal que conforma el departamento de Biología por haberme brindado todas las facilidades y comodidades para poder realizar este trabajo de investigación.

A mis compañeros de clases gracias por haber hecho mi estancia en esta escuela aun más agradable.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A mi padre Cirilo Juárez Altunar, por su amor, cariño, comprensión, paciencia, por brindarme su apoyo moral y económico, y sobre todo por confiar en mí y por darme fuerzas para seguir adelante porque gracias a sus consejos pude concluir mi estudio. Te amo.

A mi madre Herminia Altunar Álvarez, por darme la vida y amor sobre todo por el apoyo incondicional, y los consejos que siempre me has brindado y por haber confiado en mí, gracias por ser mi madre y gracias a dios por regalarme unos padres tan maravillosos.

A mis hermanos Adely, Raúl, Héctor y Beatriz, a ustedes gracias por haber confiado en mí, por su apoyo, su cariño, su amor que siempre me han brindado, son una pieza muy importante en mi vida. LOS QUIERO MUCHO.

A mi abuelita: Hilaria Altunar Hernández y en especial a mi tía Lupita ustedes son muy importantes en mi vida, gracias por haber confiado en mi y me han brindado su cariño, su apoyo en todo momento, y a todos mis seres queridos a mis tíos (a), primos (a) gracias por todo. LOS QUIERO MUCHO.

A mis amigos: Marbella, Heladia, Ma. Guadalupe, Nayeli, Alma Nydia, Diana, Celiflora y David y en especial a Justo por su afecto, su amistad y por haber estado conmigo durante todo este tiempo. Y a todos los que directa e indirectamente tuvieron que ver con este proyecto, y sobre todo a DIOS.

ÍNDICE GENERAL

	PAG.
ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
RESÚMEN.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Panorámica de la problemática de contaminación de suelos.....	5
Metales pesados.....	6
Comportamiento de los metales pesados en el suelo.....	7
La contaminación por metales pesados en la ciudad de Torreón Coahuila.....	8
El cadmio.....	10
Usos del cadmio y concentración normal en diversos sistemas.....	10
El cadmio en el ambiente.....	11
Fuentes de contaminación por cadmio.....	12
Comportamiento del cadmio en el suelo.....	13
Valores de cadmio.....	15
Efectos ambientales.....	15
Efectos del cadmio en las plantas.....	15
Efectos en la salud de animales.....	16
Efectos del cadmio en la salud humana.....	17
Clasificación taxonómica (<i>Ehretia tinifolia</i>).....	18
Normatividad ambiental.....	20
Métodos para el tratamiento de suelos contaminados con metales....	21
Tratamientos biológicos (biorremediación).....	21
Fitorremediación.....	22
Ventajas y desventajas.....	22
Tratamientos fisicoquímicos.....	23

MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Localización del área de estudio.....	24
Trabajo de campo.....	24
Muestreo de suelos.....	24
Muestreo de plantas.....	24
Trabajo de gabinete.....	25
Determinación de cadmio en el suelo.....	25
Determinación de cadmio en las plantas.....	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
Concentración de cadmio en suelos.....	29
Concentración de cadmio en <i>Ehretia tinifolia</i>	32
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	38
LITERATURA CITADA.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	CONCENTRACIÓN DE CADMIO A UNA PROFUNDIDAD DE 0-5 CM EN SUELOS ALEDAÑOS A MET-MEX PEÑOLES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES Y LAS DISTANCIAS DETERMINADAS. TORREÓN, COAHUILA MÉXICO. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.	29
2	CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LAS RAÍCES, TALLOS Y HOJAS DE <i>Ehretia tinifolia</i> (PINGÜICO) DE AREA COLINDANTE, SEGÚN LAS ORIENTACIONES Y DISTANCIAS DETERMINADAS CON RESPECTO A LA UBICACIÓN DE MET-MEX PEÑOLES. TORREÓN COAHUILA, MÉXICO. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.	32
3	CONCENTRACIONES TOTALES DE CADMIO EN SUELO Y <i>Ehretia tinifolia</i> . EN RAIZ, TALLO Y HOJAS, A DISTANCIAS DE 100 Y 200 m DE ZONAS ALEDAÑAS A MET-MEX PEÑOLES. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.	34
4	PROMEDIO TOTAL DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO Y EN <i>Ehretia tinifolia</i> . DE ZONAS ALEDAÑAS A MET.-MEX PEÑOLES. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.	36
5	PROMEDIO TOTAL DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO Y PROMEDIO TOTAL DE CADMIO RETENIDO POR <i>Ehretia tinifolia</i> DE ZONAS ALEDAÑAS A MET- MEX PEÑOLES. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.	36

RESÚMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de cadmio en suelos y la capacidad de retención de este metal por *Ehretia tinifolia* aledaños a Met-Mex Peñoles ubicada en Torreón Coahuila. Por lo cual se tomaron muestras de suelos y plantas en el área cercana de Met-Mex Peñoles y después se llevó a cabo el análisis en el laboratorio de suelos de UAAAN-UL. Las muestras tomadas del suelo fueron en 4 orientaciones las cuales son en sureste, suroeste, noreste y noroeste, se tomaron 4 muestras por cada orientación 2 muestras a 100 m y 2 muestras a 200 m de distancia. El total de muestras que se colectaron fueron 16 muestras de suelo. En la planta *Ehretia tinifolia* se obtuvieron un total de 24 muestras, 2 muestras de la raíz, 2 de tallos y 2 de hojas por cada orientación. Los resultados de las muestras que fueron analizadas indicaron que la concentración de cadmio en suelos, encontrada en los alrededores de Peñoles es elevada ya que se rebasa los límites máximos permisibles de suelos de los EUA cuyo valor es 20 mg kg^{-1} . Los suelos mas cercanos a la Metalúrgica fueron los que presentaron una mayor concentración de cadmio con un promedio de $117.76 \text{ mg kg}^{-1}$ a 100 m de distancia, mientras que en la distancia de 200 m se encontró una concentración de $110.33 \text{ mg kg}^{-1}$. El promedio total de la concentración de cadmio en suelos fue de $114.04 \text{ mg kg}^{-1}$ y en la planta *Ehretia tinifolia* el promedio de las concentraciones de cadmio halladas entre las raíces, tallos y hojas fue de 79.4 mg kg^{-1} , cabe mencionar que los datos analizados de la muestra en donde hubo mayor concentración de

cadmio fue en la raíz con un promedio total de 95.7 mg kg^{-1} , mientras que los demás partes de la planta fueron 75.4 mg kg^{-1} en el tallo y en las hojas es de 67.15 mg kg^{-1} . Con este trabajo se comprobó que la planta *Ehretia tinifolia* pueda ser considerada como fitorremediadora, ya que el total de la planta pudo retener entre raíces, tallos y hojas con un promedio de 238.3 mg kg^{-1} , mientras que en el suelo la máxima concentración de cadmio detectado fue de 170.5 mg kg^{-1} .

Palabras claves: Contaminación, metales pesados, cadmio, *Ehretia tinifolia*.

INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente emisión de productos químicos contaminantes al medio ambiente.

La contaminación de metales pesados en el ambiente 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.

Los residuos industriales y domésticos se han empleado como una forma barata de recuperación y relleno de la tierra; los desechos de puertos y canales, y 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 cadmio y otros elementos.

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 directamente a través de la inhalación de aire contaminado, por comer alimento que tiene polvo contaminado, por el uso de utensilios de plástico en la alimentación, por inhalar humo de tabaco y por ingerir agua contaminada. La exposición constante a este metal, ocasiona que se acumule en concentraciones que son dañinas en el humano y con ello originar enfermedades que pueden conducir a la muerte.

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 o transformar sustancias contaminantes a formas menos tóxicas en diferentes sitios contaminados.

En este trabajo se determinó la concentración de cadmio en suelos aledaños a Met-Mex Peñoles y la capacidad fitorremediadora que tiene el pingüico (*Ehretia tinifolia*) para retener este metal en sus tejidos.

JUSTIFICACIÓN

Los metales pesados, entre ellos el cadmio se ha 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 tratan de minimizar este problema.

No existen datos recientes disponibles sobre este metal, por lo que es importante conocer cuáles son los niveles de concentración de este contaminante en el suelo.

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 o transformar sustancias contaminantes a formas menos tóxicas en diferentes sitios contaminados. En este caso se trata de verificar la capacidad que tiene *Ehretia tinifolia* (pingüico) como planta remediadora de cadmio.

OBJETIVOS

- Determinar la concentración de cadmio en suelos aledaños a Met-Mex Peñoles ubicada en Torreón Coahuila.
- Determinar la capacidad de retención de cadmio por *Ehretia tinifolia* ubicada en áreas cercanas a Met-Mex Peñoles.

REVISION DE LITERATURA

Panorámica de la problemática de contaminación de suelos

La contaminación es uno de los problemas más importantes del suelo (AEMA-PNUMA, 2002) y se asocia con la entrada de sustancias que, a partir de una cierta concentración deben considerarse como no deseables (Porta *et al.*, 1994).

El suelo y subsuelo constituyen un recurso natural difícilmente renovable que desempeña funciones entre las que destaca su papel como medio filtrante durante la recarga del manto acuífero y la protección de los mismos, también están integrados al escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos y las redes tróficas, además de ser el espacio donde se realizan las actividades agrícolas, ganaderas y soporte de la vegetación (Saval, 1995).

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 personas (Bojorquez y García, 1995). 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 (Cortinas y Mosler, 2002). 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 este país que generan cerca de 256 toneladas de residuos peligrosos (Levin y Gealt, 1997).

De acuerdo con estadísticas 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 más comúnmente involucrados se encuentran el petróleo y sus derivados (gasolina, combustóleo, diesel), agroquímicos, gas LP y natural, entre otros (PROFEPA, 1999).

Uno de los problemas más serios asociados con el desarrollo industrial de las grandes ciudades es la contaminación ambiental.

Metales pesados

Los metales pesados son un conjunto de elementos que presentan como característica común su elevada densidad (Duffus, 2002).

Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1 % y casi siempre menor del 0.01 %. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados (García y Dorronsoro, 2005).

Comportamiento de los metales pesados en el suelo

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables (García y Dorronsoro, 2005). De hecho la entrada de metales pesados en el suelo ha ido aumentando desde que comenzó la industrialización (Han *et al.*, 2003).

La distribución de metales pesados en los perfiles de suelos, así como su disponibilidad, esta controlada por parámetros como las propiedades intrínsecas del metal y las características de los suelos (Colombo *et al.*, 1998).

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 (Ramos *et al.*, 2001).

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 (Alonso *et al.*, 2001).

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos (Baird, 1999). Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general los oligoelementos y la concentración de estos en los tejidos vegetales esta a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelo y especialmente en la absorción húmeda (Kabata-Pendias, 2001).

La contaminación por metales pesados en la ciudad de Torreón Coahuila

El problema de contaminación por metales pesados en la ciudad de Torreón es provocado por el cadmio, plomo y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos, principalmente la población infantil (López, 1999). La compañía metalúrgica Met-Mex Peñoles de Torreón Coahuila, es la empresa que emite la mayor cantidad de estos metales, principalmente plomo y cadmio.

Met-Mex Peñoles, entró en operación en 1901, siendo en 1917 la fecha adquirida por la compañía de minerales y metales entonces subsidiada por la empresa norteamericana American Metal Company y se fusionó con la Compañía Minera de Peñoles en 1920 (Valdés y Cabrera, 1999).

Valdés y Cabrera (1999), mencionan que investigadores de la Escuela de Medicina de Dartmouth encontraron en el polvo de los alrededores de Peñoles niveles de cadmio entre 11 y 1,497 mg kg⁻¹ (mediana 112 mg kg⁻¹), cuando el nivel máximo en los Estados Unidos para considerar que un sitio contaminado ya no lo está es de 20 mg kg⁻¹.

Las autoridades y la empresa responsable Met-Mex Peñoles hicieron poco por reducir sus emisiones o por remediar el daño hecho por tantas décadas de funcionamiento incontrolado (Valdés y Cabrera, 1999). Este problema se conocía desde hace más de veinte años y se había denunciado desde entonces.

Peñoles es una empresa que posiblemente trata de cumplir con la normatividad ecológica vigente, sin embargo, la problemática es tan grave, que va a ser muy difícil acallar la problemática de mayor fondo que irá surgiendo en torno a la contaminación por plomo, cadmio y otros metales pesados, un caso que ha trascendido a nivel internacional, pero que después de más de una década de denuncias no se ha efectuado que se han llevado a cabo y con las cuales la poderosa metalúrgica cree haber cumplido con todo el daño provocado,

continuando inclusive con varias de sus practicas de desecho de tóxico (Valdés y Cabrera, 1999).

El cadmio

El cadmio (Cd, número atómico 48, masa atómica 111,40) Tiene un color azulado que recuerda a la plata, es blando, dúctil y maleable. Fue descubierto en 1817 por Friedrich Strohmeyer. Se obtiene como subproducto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo, a partir de sulfuro de cadmio; en el proceso hay formación de óxido de cadmio, compuesto muy tóxico. Además de contaminar el ambiente desde su fundición y refinación, contamina también por sus múltiples aplicaciones industriales (Ramírez, 2002).

El cadmio es componente de algunas de las aleaciones de más bajo punto de fusión. Se emplea mucho en recubrimientos de acumuladores y rectificadores (Jiménez, 2003).

Usos del cadmio y concentración normal en diversos sistemas

El cadmio es utilizado básicamente en cromados, lo que representa un 35 % del uso total, como pigmento (sobretudo en cerámica) y esmaltes, (sobre un 25 %), como estabilizante de plásticos (un 15 %), en baterías (un 15 %) y en aleaciones. Las sales de cadmio son venenosas, y por ello no son utilizadas en medicina. De la cantidad utilizada, menos de un 10 % del cadmio es reciclado por la industria, lo que implica que la mayor parte se acumula en el

medio ambiente. Los valores en la atmósfera suelen ser del orden de nanogramos por metro cúbico ($< 5\text{ng/m}^3$), pero puede llegar a varios miligramos por metro cúbico en ciertos tipos de industrias. Los niveles en agua son muy bajos, del orden de 0.01-1mcg/l, excepto en áreas contaminadas (Anónimo, 2008).

En cuanto a los valores en el suelo, son los más elevados, pero del orden de microgramos (0.35-0.62 mcg/g), lo que da una media, en condiciones normales de 0.1-0.2 mcg/g en la corteza terrestre. Muchos alimentos contienen trazas de este metal, sobre todo cereales y derivados, debido al uso de ciertos abonos y lodos utilizados en su cultivo. También encontramos niveles relativamente elevados en vísceras, sobretodo en hígado y riñón, y en marisco. En cambio, en carne, pescado y aves de corral la cantidad es muy baja (Anónimo, 2008).

En suelos agrícolas, las principales fuentes de cadmio provienen de la fertilización fosforada, uso de lodos y residuos industriales (Alloway, 1995).

El cadmio en el ambiente

El cadmio entra al aire de fuentes como la minería, industria, y al quemar carbón y desechos domésticos. En el aire, partículas de cadmio pueden viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo o en el agua. El cadmio entra al agua y al suelo de vertederos y de derrames o escapes en sitios de desechos peligrosos. Se adhiere fuertemente a partículas en la tierra.

Parte del cadmio se disuelve en el agua. No se degrada en el medio ambiente, pero puede cambiar de forma. Las plantas, peces y otros animales incorporan cadmio del medio ambiente.

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 g/día. Investigaciones realizadas en Chile señalan que la incorporación de cadmio a los suelos se debe principalmente a la actividad mineral e industrial, encontrándose este elemento en mayor cantidad en áreas industrializadas (González e Ite, 1992).

El cadmio permanece en el organismo por largo tiempo y puede acumularse después de años de exposición a bajos niveles. (AST y R E, 1999).

Su vida media en los humanos es de unos 10 años (Atlas y Bartha, 2002).

Fuentes de contaminación por cadmio

La contaminación por cadmio es un problema que se ha incrementado paulatinamente en los últimos años, como consecuencia del desarrollo de la actividad industrial (USEPA, 2001).

Hay tres fuentes principales del cadmio las cuales son las siguientes:

- Fuentes naturales: la mayor fuente natural de liberación del cadmio es la actividad volcánica, la minería de metales ferrosos especialmente el zinc.
- Fuentes industriales: entre las industrias que utilizan el cadmio están la galvanoplastia, baterías, gravados, pigmentos de pinturas y vidrios
- Fuentes agrícolas: algunos pesticidas fosfatados los cuales actualmente están prohibidos, han aportado concentraciones variables de este metal a algunos alimentos (Arriazu 2007).

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 (Ahumada y Schalscha, 1995).

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 existe 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 lo 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 últimamente 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 (Serrano, 1997).

Con relación a los fertilizantes fosforados, la principal materia prima de estos 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 (Laegreid *et al.*, 1999).

Por ejemplo, en Chile se ha determinado que la roca fosfórica de Bahía Inglesa contiene alrededor de 6 mg kg⁻¹ de Cd (Valenzuela. A., 2002). Investigaciones recientes indican que los contenidos de cadmio en fertilizantes comercializados en Brasil varían entre 0,6 y 3,5 mg kg⁻¹ (Gabe y Rodella, 1999).

En suelos incubados con cadmio, Barrow, (1998), encontró que este 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 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 Japón y Australia (Anónimo, 2008).

El límite para considerar que un sitio contaminado ha sido restaurado en los Estados Unidos, llamado "Superfund cleanup goal" es de 20 ppm para el cadmio (Valdes y Cabrera, 1999).

Valores de cadmio

En 1972 la FAO/OMS fijan como valor de cadmio que puede ingerirse semanalmente por un adulto **400-500 mcg**. Se considera una dosis mortal la de **100 mcg/dl**. La cantidad en agua de bebida debe ser, según la OMS inferior a **5 mcg/l**. Este valor se contempla en nuestra legislación en el RD 1138/1990, y se ratifica en una nueva propuesta Directiva en el 2000. La FDA limita la concentración en colorantes alimentarios a **15 ppm**. La OSHA (Occupational Safety and Health Administration) limita a **100 mcg/m³** de cadmio en lugares de trabajo y se recomienda que los trabajadores respiren la menor cantidad de cadmio posible. La dosis fijada por la OMS de 400 mcg/semanales es muy baja, y esto indica el carácter acumulativo que presenta el cadmio. Por ejemplo, en un neonato, la cantidad total de cadmio en el organismo es de 1 mcg, pero en la edad adulta podemos acumular 30-40 mcg, sin llegar a aparecer manifestaciones de toxicidad (Anónimo 2008).

Efectos ambientales

Efectos del cadmio en las plantas. El cadmio en algunas plantas produce ciertos efectos como el crecimiento y desarrollo de las plantas, disminución de

la cantidad de clorofila y su marchitez, llegando al caso de matarlas. Los efectos dañinos que causa el cadmio se evidencia en las plantas a través de enrollamiento de hojas, disminución del crecimiento vegetal y daños oxidativos. 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 arroz y el trigo lo absorben en gran cantidad de los suelos contaminados (Anónimo, 2008).

En las plantas, los síntomas más generales de toxicidad por cadmio son atrofia y clorosis. La clorosis puede aparecer debido a una interacción directa e indirecta con el Fe, el Zn, el P y el Mn. Altos contenidos del cadmio en el medio de crecimiento inhiben la absorción de Fe en las plantas. 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. Aun cuando los efectos del cadmio varían a nivel de especie e incluso varietal, en general el cadmio interfiere en la absorción y transporte de varios elementos (Ca, Mg, P y K) y del agua (Das *et al.*, 1998).

Efectos en la salud de animales. Los organismos pueden verse severamente afectados por pequeñas concentraciones de elementos pesados. En el caso de los organismos acuáticos, puede que unos determinados valores no induzcan su muerte, sin embargo desarrollarán una serie de problemas fisiológicos y

metabólicos (a estas dosis se les denomina subletales) (Higueras y Oyarzun 2007).

Entre estos problemas podemos mencionar:

- Cambios histológicos o morfológicos en los tejidos.
- Cambios en la fisiología como supresión del crecimiento y desarrollo, torpeza para nadar, etc.
- Cambios en la bioquímica del organismo, tales como en la actividad enzimática, y química de las sangre.
- Trastornos del comportamiento.
- Cambios en la reproducción.

Efectos del cadmio en la salud humana. 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 (McLaughlin y Singh, 1999).

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. (Anónimo, 2008).

El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas, animales y humanos (Alloway, 1995).

De acuerdo a Cruces-valiente (1996) una vez que se ha ingerido algún alimento contaminado por cadmio, el metal se acumula en los riñones donde su vida media de permanencia es de 18 a 30 años, (lo cual difiere de lo que afirman Atlas y Bartha (2002), que demuestra la gran dificultad que involucra la eliminación del cadmio por el organismo. Cuando la concentración del cadmio en los riñones es superior a 20 mg.g^{-1} los órganos sufren daños irreversibles.

Las personas expuestas a bajas concentraciones, pero crónicas de cadmio, terminan padeciendo hipertensión, insuficiencia renal y hepática (Atlas y Bartha, 2002), cuando se está expuesto a concentraciones elevadas puede alterar el sistema óseo, haciéndolo más frágil, produciendo una enfermedad dolorosa llamada síndrome de Itai-Itai (¡ay!-¡ay!) que fue detectada por la primera vez en Japón en 1968 (Gupta y Gupta, 1998).

Estudios de inhalación han demostrado un incremento altamente significativo del cáncer de pulmón en ratas dependiente de la dosis. También se ha observado en varios estudios un exceso de cáncer de pulmón entre trabajadores expuestos al cadmio (IHOBE, 1998).

Clasificación taxonómica (*Ehretia tinifolia*)

Familia. *Boraginaceae*

Nombres comunes. bek, beek, roble, pingüica, pingüico, roble prieto, muñeco, meón.

Distribución en México. Yucatán, Campeche y Quintana Roo, se localiza como planta ornamental en el norte del país.

Descripción botánica. Árbol con hojas alternas enteras, elípticas y sin pelos. Flores pequeñas blancas, fragantes y agrupadas en panojas terminales. Fruto en drupa pequeña de color amarillo al rojo y luego negro (Marcano, 1973).

El árbol llega a medir hasta 30 m de altura (Sánchez, 2001).

Usos. Rebollar y Quintanar (2000), en un trabajo sobre anatomía y usos de la madera de árboles tropicales, mencionan que esta especie tiene una madera de valor estético, la madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen, es castaño amarilla, no tiene olor ni sabor característicos, su brillo es bajo, de veteado suave, textura fina e hilo entrecruzado. Las zonas de crecimiento están marcadas con fibras.

Marcano (1973), menciona que la inflorescencia de esta especie tiene valor apícola. Las frutas, hojas y raíces de esta planta es utilizada desde el tiempo de los Mayas para curar enfermedades de los riñones (Sánchez, 2001).

En este trabajo se trata de ver si tiene algún valor fitorremediador de metales pesados en este caso el cadmio.

Normatividad ambiental

Desde su promulgación, la normativa se fue ampliando y perfeccionando para ir acomodándose a las nuevas exigencias y desafíos medioambientales (EMGRISA, 2004):

- Real Decreto 833/1988 de 20 de julio. Aprobación del Reglamento que desarrolla la Ley 20/1986.
- Plan Nacional de Residuos Industriales, marzo de 1989.
- P.6. Programa de identificación, Control y Recuperación de Espacios afectados por RTPs (1989-1993).
- Inventario Nacional de Suelos Contaminados (1990-1994).
- Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados (1995-2005), de 28 de abril de 1995.
- Resolución del Ministerio de Medio Ambiente sobre Convenios Marco de Colaboración con las C.C.A.A.

La adaptación de la normativa española en materia de residuos a la de la Unión Europea obligó a redactar una nueva ley de residuos que sustituyese a la de 1986 arriba mencionada: la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos que, por primera vez en España estableció una legislación básica en materia de

protección del suelo frente a la contaminación puesto que hasta la promulgación de dicha ley en España no se disponía de ninguna norma legal que permitiera proteger los suelos contra la contaminación y, en el caso de los ya contaminados, identificarlos y caracterizarlos utilizando para ello una metodología normalizada y técnicamente rigurosa (Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, 2005).

Métodos para el tratamiento de suelos contaminados con metales

Los métodos existentes para tratar los suelos contaminados pueden ser de naturaleza física, química o biológica y tanto unos como otros pueden aplicarse en el lugar de la contaminación o como tratamiento *ex situ*. Se incluye una clasificación de las diferentes técnicas empleadas, agrupadas según su naturaleza y la forma de aplicación (Gonzalez *et al.*, 2004).

La remediación de sitios contaminados con metales, puede realizarse a través de métodos fisicoquímicos, térmicos y/o biológicos. Sin embargo, la efectividad de un método de remediación para un sitio contaminado con compuestos inorgánicos, depende del conocimiento de los factores hidrológicos y geológicos del sitio, de la solubilidad y especiación de los metales, de los procesos de atenuación e inmovilización y de la medida en que éstos puedan migrar en el suelo (Velasco *et al.*, 2004).

Tratamientos biológicos (biorremediación). El término *biorremediación* se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta estrategia depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por consiguiente de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía (Van Deuren *et al.*, 1997).

Las técnicas *ex situ* pueden ser más rápidas, más fáciles de controlar y aplicables a un mayor abanico de contaminantes y suelos que las técnicas *in situ*. Sin embargo, requieren excavación y acondicionamiento del suelo contaminado antes e incluso, a veces, después de la fase de tratamiento biológico (González *et al.*, 2004).

Fitorremediación

Ventajas

- ❖ Una de las grandes fortalezas de la fitorremediación es la de extraer los contaminantes desde el sitio donde ellos están, esta tecnología es capaz de recuperar o sacar contaminantes desde el suelo.
- ❖ Bajos costos que involucra implementar y mantener un sistema de fitorremediación, comparado con el uso de tecnologías estándar.
- ❖ Los residuos de los procesos de recuperación, si existen, son inocuos para el medio ambiente.

- ❖ Debido a que muchos procesos ocurren en forma natural, requiere menos insumo y menor consumo de energía.

Desventajas

- ❖ El sistema requiere tanto de vegetales como microorganismos y se debe tener en cuenta la toxicidad de los organismos introducidos al sistema.
- ❖ Riesgo de que contaminantes entren a la cadena trófica. No se puede emplear si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano (Arenas *et al.*, sin fecha).

Tratamientos fisicoquímicos. Este tipo de tratamientos, aprovecha las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación. Las tecnologías fisicoquímicas incluyen tres estrategias básicas de acción sobre el contaminante: destrucción, extracción e inmovilización (Van *et al.*, 1997; Volke y Velasco, 2002).

MATERIALES Y METODOS

Localización del área de estudio. El presente trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Torreón Coahuila en áreas colindantes a la Industria Met-Mex Peñoles ubicada al sur de la ciudad. Durante los meses septiembre – octubre de 2007. El trabajo se dividió en dos etapas: trabajo de campo y trabajo de gabinete

Trabajo de campo. Se tomaron muestras en diferentes orientaciones de la empresa Met–Mex Peñoles. Las orientaciones de las áreas muestreadas fueron el noreste, noroeste, sureste y suroeste, tomando en cuenta como referencia a las instalaciones de la misma metalúrgica. A una distancia que varió de 100 a 200 m.

Se efectuaron muestreos de suelo y muestreo de plantas.

Muestreo de suelos. Se tomaron muestras de aproximadamente 500 gramos de 0-5 cm de profundidad de suelo, se obtuvo 4 muestras por cada orientación, 2 a 100 m y 2 a 200 m de distancia. En total fueron 16 muestras de suelo.

Muestreo de plantas. La toma de muestras de la especie evaluada se realizó en las distintas orientaciones, y distancias. Se muestrearon a nivel de raíz, tallo y hojas, fueron una muestra por cada órgano de la planta, siendo en total 24 muestras las obtenidas. Se tomó una alícuota de 0.5 gramos de *Ehretia tinifolia* para determinar la concentración del cadmio.

Trabajo de gabinete. Las muestras obtenidas tanto de plantas como de suelo fueron analizadas en el laboratorio de suelos de UAAAN-UL.

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

Las muestras de suelo y las plantas se emplearon para determinar el contenido de cadmio.

Determinación de cadmio en el suelo. La metodología empleada fue:

- 1.- Se secó y se tamizó en malla de 2 mm la muestra de suelo.
- 2.- Se pesaron 5 gr de suelo de cada una de las muestras y se colocaron en botes de plástico con tapón.
- 3.- Posteriormente se le agregaron 50 ml. De ácido nítrico 4 molar (O_3).
- 4.- Se pusieron de 4-12 hrs. a Baño maría a una temperatura de 70°C .
- 5.- Después de haber transcurrido el tiempo de exposición se secaron a la temperatura ambiente y se niveló al volumen que tenía anteriormente y se procedió a agitar durante una hora en el agitador mecánico.
- 6.- Posteriormente se filtraron cada una de las muestras.
- 7.- Se tomaron 3 ml. del extracto del suelo y se diluyeron en 6 ml de agua destilada.

8.- Se efectuaron las lecturas de los extractos para la determinación de cadmio, realizando su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica. Perkin Elmer 2380.

Cálculos realizados

$$\text{Ppm Cd} = (\text{CAA}) (\text{DM})(\text{DV})$$

Donde:

Ppm: partes por millón leídas en el aparato de Absorción Atómica.

Cd: cadmio.

CAA: concentración de cadmio leída.

DM: dilución en masa 50/5

DV: en caso de ser necesario.

Determinación de cadmio en las plantas. La metodología realizada fue:

1.- Se secaron y se trituraron las plantas.

2.- Se pesó el material vegetal, 0.50 g y se colocó en matraces microkjeldahl de 30 ml o tubos de digestión. Se adicionó 6 ml de mezcla digestora. Se dejó en predisgestión por 12 horas como mínimo o en reposo toda la noche.

Simultáneamente se corren blancos de reactivos. Se adicionan dos o tres perlas de vidrio para mantener una ebullición pareja.

3.- Se colocaron los matraces, o los tubos, en la unidad digestora y se calienta a 150 °C hasta que desaparezcan los humos pardos de los óxidos de nitrógeno. Este proceso tomó entre 30 y 45 minutos. Durante la etapa se rota el matraz o el tubo para lavar las paredes de todo residuo orgánico.

4.- Una vez concluida la etapa anterior se eleva la temperatura del aparato digestor a 210 °C para llevar la ebullición a la mezcla azeotrópica de HClO₄ (203 °C). El ataque del HClO₄ a la matriz orgánica residual se nota inicialmente por la aparición d vapores pardos leves y luego por una reacción viciosa con formación de espuma.

5.- El final de la reacción esta marcada por la aparición de vapores blancos densos característicos del HClO₄. Esta etapa marcado por la aparición de vapores pesados, dejar las muestras por cinco minutos más en el aparato digestor. Se transfiere cuantitativamente el digestado a un matraz aforado de 10 ml y se afora con agua desionizada.

6.- Se efectuaron las lecturas de los extractos para la determinación de cadmio, realizando su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 2380.

Cálculos realizados

$$\% \text{ Cd} = \frac{\text{ppm AA} \times \text{Dm} \times \text{Dv}}{10,000}$$

Donde:

ppm: partes por millón leídas en el aparato de Absorción Atómica.

Cd: Cadmio.

CAA: concentración de cadmio leída.

DM: Dilución en masa 50/5

DV: en caso de ser necesario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de cadmio en suelos

CUADRO 1. CONCENTRACIÓN DE CADMIO A UNA PROFUNDIDAD DE 0-5 CM EN SUELOS ALEDAÑOS A MET-MEX PEÑALES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES Y LAS DISTANCIAS DETERMINADAS. TORREÓN, COAHUILA MÉXICO. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.

Orientación	Distancia 100 m Mg kg ⁻¹	200 m Mg kg ⁻¹	Limites máximos permisibles en suelos de E. U. mg kg ⁻¹
Sureste			
Muestra 1	170.5	140.8	
Muestra 2	73.15	78.1	
Promedio	121.82	109.45	
Suroeste			
Muestra 1	129.8	133.1	
Muestra 2	79.2	70.4	
Promedio	104.5	101.75	20
Noreste			
Muestra 1	155.1	134.2	
Muestra 2	78.1	79.7	
Promedio	116.6	106.95	
Noroeste			
Muestra 1	166.1	167.2	
Muestra 2	90.2	79.2	
Promedio	128.15	123.2	
Promedio total	117.76	110.33	

En el Cuadro 1 se puede observar que la concentración de cadmio en el suelo es superior al límite máximo permisible establecido por Estados Unidos de América. Los valores más elevados estuvieron en rango de 170 mg kg^{-1} hacia el sureste y a 100 m de distancia, a 140.8 mg kg^{-1} hacia el sureste y 200 m de distancia. Los valores más bajos estuvieron en un rango de 70.4 hacia el suroeste y a 200 m de distancia y 90.2 al noroeste y 100 m de distancia. Aunque fue poca la diferencia encontrada entre los valores altos y entre los valores bajos. Se ve, que los suelos más cercanos a la metalúrgica (100 m de distancia) en promedio, son los que presentan una mayor concentración de cadmio con un valor de $117.76 \text{ mg kg}^{-1}$, mientras que en la distancia de 200 m se encontró una concentración de $110.33 \text{ mg kg}^{-1}$. Hacia el noroeste de las dos distancias el que más contenido presentó, con un promedio de $128.15 \text{ mg kg}^{-1}$ a 100 m de distancia, y 123.2 mg kg^{-1} en una distancia de 200 m. Probablemente el hecho de que se haya encontrado la mayor concentración de cadmio en la orientación noroeste sea por la mayor dominancia de los vientos hacia esa dirección, aunque los datos presentan poca diferencia. De acuerdo a estos resultados tanto la distancia como las orientaciones, no ejercieron un efecto determinante en los resultados.

Estos resultados muestran que la concentración de cadmio no solo es preocupante sino es además alarmante, según Alonso *et al.* (2001), el cadmio es un metal que en el suelo puede durar de 13 a 1100 años, para evitar que llegue a durar tanto tiempo se tienen que hacer labores de limpieza y prevención.

En este trabajo se comprueba que efectivamente el cadmio que hay en los suelos en buena medida provienen de actividades industriales, según lo afirma González e Ite, (1992) en investigaciones realizadas en Chile en donde señalan que la incorporación de cadmio a los suelos se debe principalmente a la actividad mineral e industrial, encontrándose este elemento en mayor cantidad en áreas industrializadas.

Según Serrano (1997), 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 lo toma las plantas fácilmente, y de allí sigue la ruta de la cadena alimenticia hasta llegar a los seres humanos. Aunque los suelos muestreados no son ácidos sino alcalinos, y no son suelos de uso agrícola, son de uso urbano.

Concentración de cadmio en *Ehretia tinifolia*

CUADRO 2. CONCENTRACION DE CADMIO EN LAS RAÍCES, TALLOS Y HOJAS DE *Ehretia tinifolia* (PINGÜICO) DE AREA COLINDANTE, SEGÚN LAS ORIENTACIONES Y DISTANCIAS DETERMINADAS CON RESPECTO A LA UBICACIÓN DE MET-MEX PEÑALES. TORREON COAHUILA, MEXICO. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.

<i>Ehretia tinifolia</i>	Raíces		Tallos		Hojas	
	100 m	200 m	100 m	200 m	100 m	200 m
Concentración de cadmio	mg Kg ⁻¹					
Orientaciones						
Sureste	139.9	80.2	70.5	69.5	66.6	64.7
Suroeste	99	70.1	87	77	67.7	67
Noreste	122.1	76.4	75.4	72.1	68.1	69
Noroeste	78.4	100.4	80.3	71.5	67.6	66.6
Concentración promedio de cadmio	109.8	81.7	78.3	72.5	67.5	66.8

En el Cuadro 2 se puede observar la concentración de cadmio en *Ehretia tinifolia* en promedio, la máxima concentración se dio a nivel de las raíces con 109.8 mg Kg⁻¹ en una distancia de 100 m y 81.7 mg Kg⁻¹ en 200 m, a nivel de los tallos tiene una concentración de 78.3 mg kg⁻¹ de una distancia 100 m y 72.5 mg kg⁻¹ de 200 m y de las hojas con un promedio de concentración de 67.5 mg kg⁻¹ de 100 m de distancia y 66.8 mg kg⁻¹ de 200 m.

A nivel de raíces, la máxima concentración de cadmio se detectó en las raíces con 139.9 mg kg^{-1} en orientación sureste y a 100 m de distancia, después siguió la de 122.1 mg kg^{-1} al noreste y 100 m de distancia y las mínimas concentraciones fueron de 70.1 mg kg^{-1} al suroeste y a 200 m de distancia, luego siguió la que tuvo una concentración de 76.4 mg kg^{-1} al noreste y 200 m de distancia.

En los tallos, la máxima concentración se detectó fue de 87 mg kg^{-1} al suroeste y 100 m de distancia, luego siguió la concentración 80.3 mg kg^{-1} al noroeste y 100 m de distancia. Las concentraciones mínimas fueron de 69.5 mg kg^{-1} al sureste y 200 m de distancia, la de 70.5 mg kg^{-1} al sureste y 100 m de distancia.

En las hojas, la máxima concentración se detectó fue de 69 mg kg^{-1} al noreste y 200 m de distancia, luego siguió la concentración 68.1 mg kg^{-1} al noreste y 100 m de distancia. Las concentraciones mínimas fueron de 64.7 mg kg^{-1} al sureste y 200 m de distancia, hubo dos concentraciones con el mismo que fue de 66.6 mg kg^{-1} al sureste y 100 m de distancia y al noroeste y 200 m de distancia.

En estos resultados, se puede verificar que las mayores concentraciones de cadmio se alcanzaron en las raíces, luego en los tallos y en donde menor concentración hubo fue en las hojas. Esto significa que la principal vía de entrada de cadmio en estas plantas se da del suelo hacia las raíces.

La condición física que se observó en las plantas fue normal, es decir no se vieron daños evidentes derivados de la contaminación por cadmio, que según

Anónimo (2008) provocan un enrollamiento de hojas, lo cual hace que potencialmente esta planta pueda ser considerada como fitorremediadora.

Según Das *et al.*, (1998) dice, que cuando ataca a las plantas que lo absorben, les afecta en su desarrollo produciendo algo parecido a una anemia, en este caso *Ehretia tinifolia* no presentó aparentemente ningún daño.

CUADRO 3. CONCENTRACIONES TOTALES DE CADMIO EN SUELO Y *Ehretia tinifolia*. EN RAÍZ, TALLO Y HOJAS, A DISTANCIAS DE 100 Y 200 m DE ZONAS ALEDAÑAS A MET-MEX PEÑALES. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.

Concentración de cadmio En	100 m mg kg ⁻¹	200 m mg kg ⁻¹
suelo	117.76	110.33
<i>Ehretia tinifolia</i> (pinguico)		
Raíz	109.8	81.7
Tallo	78.3	72.5
Hojas	67.5	66.8
Suma total	255.6	221
Promedio total en la planta	85.2	73.6

En el Cuadro 3 se observa que la concentración de cadmio en el suelo es mas alta con un promedio de 117.76 mg kg⁻¹ a 100 m de distancia y 110.33 mg kg⁻¹ a 200 m, que la de las plantas raíz, tallo y hojas las cuales varían con un promedio 66 mg kg⁻¹ y 110 mg kg⁻¹ de concentración de cadmio.

La suma total de concentración de cadmio en *Ehretia tinifolia* fue de 255.6 mg kg⁻¹ a 100 m de distancia, que fue muy superior a la máxima concentración de cadmio hallada en el suelo que fue de 170 mg kg⁻¹. Lo cual confirma el buen potencial que tiene esta planta para ser fitorremediadora. Triana (2008) encontró que *Bougainvillea* spp 100 m de distancia de Met-Mex Peñoles retuvo hasta 270 mg kg⁻¹ lo que significa que esta especie es más eficiente como fitorremediadora que *Ehretia tinifolia*.

Estos datos indican que las muestras obtenidas alrededor de la empresa Peñoles, entre mas cerca esté de las instalaciones, mayor concentración de cadmio hay.

CUADRO 4. PROMEDIO TOTAL DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO Y EN *Ehretia tinifolia*. DE ZONAS ALEDAÑAS A MET.-MEX PEÑALES. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.

Variable	Concentración promedio de cadmio mg kg ⁻¹
En suelo	114.04
<i>Ehretia tinifolia</i> .	79.4

En el Cuadro 4 se observa el promedio total de la concentración de cadmio en el suelo con un promedio de 114.04 mg kg⁻¹ el cual es un poco elevada a la que se encuentra la *Ehretia tinifolia* que fue de 79.4 mg kg⁻¹.

CUADRO 5 PROMEDIO TOTAL DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO Y PROMEDIO TOTAL DE CADMIO RETENIDO POR *Ehretia tinifolia* DE ZONAS ALEDAÑAS A MET- MEX PEÑALES. SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2007.

Variable	Concentración de cadmio mg kg ⁻¹
Promedio en suelo	114.04
Promedio total en <i>Ehretia tinifolia</i>	238.3

En el Cuadro 5 se observa que la concentración de cadmio en el suelo es mucho más baja que en promedio de *Ehretia tinifolia* 238.3 mg kg⁻¹, y en el suelo el promedio es de 114.04 mg kg⁻¹ lo que corrobora la buena capacidad fitorremediadora de esta especie.

CONCLUSIONES

La concentración de cadmio en los suelos aledaños a Met- Mex Peñoles es mayor al límite máximo permisible establecido en suelos de los Estados Unidos de América, cuyo valor es de 20 mg kg^{-1} .

La concentración más elevada encontrada en suelos aledaños a Met- Peñoles fue 170.5 mg kg^{-1} a 100 m de distancia y dirección sureste. La concentración mínima fue de 70.4 mg kg^{-1} a 200 m de distancia y dirección de suroeste.

La concentración encontrada proviene de emisiones que efectúa la metalúrgica Met-Mex Peñoles.

La *Ehretia tinifolia* es una planta que presenta una condición física normal, es decir no se vieron daños evidentes derivados de la contaminación por cadmio, lo cual hace que potencialmente esta planta pueda ser considerada como fitorremediadora.

Los resultados obtenidos en la raíz, tallo y hojas, se puede verificar que las mayores concentraciones de cadmio, se encontró en la raíz, luego en los tallos y en donde menor concentración hubo fue en las hojas. Esto significa que la principal vía de entrada de cadmio en la planta se da del suelo hacia las raíces.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se reforeste continuamente con esta especie a los alrededores de Met-Mex Peñoles.
- Que la empresa reduzca la emisión de este contaminante en el ambiente.
- Es necesario que se apruebe, se aplique y se respete una norma ecológica que regule la concentración máxima de cadmio en los suelos de México.
- Debido a que esta especie constantemente está tirando al suelo hojas es necesario que se recojan, se almacenen y se trasladen fuera del área, ya que es muy probable si se dejan las hojas tiradas, que sean reincorporadas al suelo y pasen a las cadenas tróficas, lo cual contribuiría a aumentar la contaminación por metales pesados.

LITERATURA CITADA

AEMA-PNUMA. 2002. Con los pies en la Tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa. Un desafío para el siglo XXI. Problemas medioambientales, nº 16. 34 pp.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (AST y RE), 1999. Reseña Toxicológica del Cadmio. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.

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

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

Alloway, B. J. 1995. Cadmium. En: Heavy Metals in Soils. Ed. Alloway B. J. Blackie Academic and Professional Publ. New York. USA. Pág. 368.

Anónimo. 2008. Metales. Acumulación, toxicidad, humanos: cromados. Contaminación agua y medio ambiente. Trabajos universitarios. Universidad Autónoma de Barcelona, España. <http://apuntes.rincón-del-vago.com/cadmio.html>

Arenas M, Bastías C, Leiva F, Quiroga R, Ramírez J, Salazar M, Spuler H, Vera R, Urrutia C, sin fecha. Fitorremediación de suelos, ventajas y desventajas.

Arriazu, N. R, 2007. El cadmio, ¿carcinógeno prostático o no?, Congreso Virtual Hispanoamericano de Anatomía Patológica. Pág. 1-9

Atlas y Bartha, 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4^{ta} edición. Editorial Pearson Education S. A. Madrid.

Baird, C. 1999. Environmental Chemistry. Second edition. W.H. Freeman & Company.

Barrow, N. J. 1998. Effects of time and temperatura on the sorption of cadmium, zinc, cobalt and níkel by an soils. Austr J. Soil Res, Melbourne. Vol. 38. pág. 941-950.

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

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

Cortinas y Mosler, 2002. Gestión de residuos peligrosos. Universidad Autónoma de México. México, D.F.

Cruces- Valiente, M. 1996. Cadmium binding capacity of cocoa and isolated total dietary fiber Under physiological pH conditions. *J. Food. Sci. Agric.* Vol. 72. pág. 476-482.

Das, Smantaray y Rout,.1998. Studies on Cadmium in plants; Areview. *Environmental Pollution.* 98: 29-36.

Duffus, J.H. 2002. "Heavy metals"- a meaningless term? *Pure Appl.Chem.*, **74**, 793-807.

EMGRISA. Empresa para la Gestión de Residuos Industriales, S.A. 2004. (en línea). Antecedentes Históricos. Antecedentes de los suelos contaminados en España. (<http://www.emgrisa.es/Tematicos/SuelosC/antecedentes.asp>) consultada 13 de octubre d 2007.

Gabe, U. y A. Rodella. 1999. Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. *New Cork.* Vol. 30. pág. 605-620.

García, I. y Dorronsoro, 2005. (En línea). Contaminación por metales pesados. En: Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. (<http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>. Recuperado 25 de noviembre de 2007.

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. Vol. 50, No. 2. pág. 214-219.

González-Becerra, Martín-Moreno y Blanco-Santos. 2004. Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación. Pp. 103-120, Rev Iberoam Micol.

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

Han, F.X., Banin, A., Kingery, W.L., Triplett, G.B., Zhou, L.X., Zheng, S. J., Ding, W.X., 2003. New approach to studies of heavy metal redistribution in soil. Advances in Environmental Research, 8, pp. 113-120.

Higueras P. y Oyarzun R. 2007. (En línea). Minerales, metales, gases y la salud humana y ambiental. http://www.uclm.es/users/higueras/mga/tema08/Minerales_salud_0.htm.
(Consultada el día 14 de octubre de 2007).

IHOBE. 1998. Calidad del Suelo. Valores Indicativos de Evaluación (VIE-A, VIE-B, VIE-C). Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente. Gobierna Vasco, Vitoria- Gasteiz. 272 pp.

Jiménez, A. 2003. (En línea). Universidad Autónoma de Madrid. <http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/cd.html>. (Consultada 22 de octubre del 2007).

Kabata-Pendias, A. 2001. Trace Elements in soils and Plants. Tercera edición. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, USA. 411 pp.

Laegreid, M. O. y colaboradores. 1999. Agricultura fertilizers and environment. Pp. 294. Wallingford: CAB.

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

López P. F 1999. Ordenan a peñoles reducir sus operaciones a la mitad. La Jornada 22/05/99.

Marcano, F. E. J. 1973. La Flora Apícola de la República Dominicana. Dictolideóneas. Segunda parte. Santo Domingo. Marcano. Freeservers.com/nature/estudios/apicola/dicotsa/.html – 24k. Consultada el 17 de mayo de 2008.

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

Porta, J. M. López-Acevedo, C. Roquero, 1994. Degradación de suelos y calidad ambiental y Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp.

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

Ramirez, A. 2002. Toxicología del cadmio conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Anales de la facultad de Medicina. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vol, 63, nº 1.

Ramos, B. y colaboradores. 2001. Heavy metals, salts and sodium in chinampa soils in México facultad de Ciencias, UNAM. Departamento de biología, laboratorio de edafología. Agrociencia vol. 35, No. 4. Pp. 387.

Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

Rebollar, S. y Quintanar, A. 2000. Anatomía y usos de la madera de siete árboles tropicales de México. *Rev. biol. trop.* [on line]. jun. 2000, vol.48, no.2-3 [citado 17 Mayo 2008], p.569-578. Disponible en la World Wide Web:

http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000200028&lng=es&nrm=iso. ISSN 0034-7744. Consultada el 17 de mayo de 2008.

Sánchez-Navarro, R. 2001. Plantas Medicinales - guía México desconocido edición especial, México.

Saval, B. S. 1995. Acciones para la Remediación de Suelos en México. Segundo Minisimposio Internacional sobre Contaminantes del Agua y Suelo. Instituto de Ingeniería. UNAM.

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

Triana, Z. G. 2008. Contaminación por cadmio en suelos aledaños a Met.- Mex. Peñoles y retención de este metal por la *Bougainvillea* spp. Tesis profesional. UAAAN UL. Torreón Coahuila. 41 pags.

USEPA. 2001. U.S. Environmental Protection Agency. Chronic Toxicity Summary. Cadmium and Cadmium Compounds. CAS Registry Number: 7449.

Valenzuela, A. 2002. Determinación de cadmio en fertilizantes fosforados y su efecto en cuatro tipos de suelos de Chile. 80 f. Tesis (magister en ciencias Agropecuarias)- Pontifica Universidad Católica de Chile, Santiago.

Valdes, F. y V. Cabrera, 1999. "En defensa del ambiente" la contaminación por metales pesados. Torreón, Coahuila, México, primera edición.

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

Velasco, T. A.; De la Rosa, P. A.; Solorzano, O. G.; Volke, S. T. 2004. Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Instituto nacional de ecología.

Volke, T.L. y J.A. Velasco. 2002. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. *Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)*. 64 pp. México. ISBN: 968-817-557-9.