

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 POR EL GERANIO
(Pelargonium ssp)

POR:

AIDE HERNANDEZ HERNANDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO 2008.

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS

**CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN SUELOS ALEDAÑOS A MET-MÉX
PEÑALES Y RETENCIÓN DE ESTE METAL POR EL GERANIO**

(Pelargonium spp)

PRESENTA

AIDE HERNANDEZ HERNANDEZ

PRESIDENTE DEL JURADO

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DEL 2008.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
“UNIDAD LAGUNA”

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS
PRESENTADA POR:

AIDE HERNANDEZ HERNANDEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR

ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR

MC. LUIS FERNANDO MONTANO DURÁN

ASESOR

ING. LUIS ANGEL BAZALDÚA ZURITA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DEL 2008.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
“UNIDAD LAGUNA”

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS
PRESENTADA POR:

AIDE HERNANDEZ HERNANDEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL

ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL

MC. LUIS FERNANDO MONTANO DURÁN

VOCAL SUPLENTE

ING. LUÍS ANGEL BAZALDÚA ZURITA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

MC VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DEL 2008

AGRADECIMIENTOS

A DIOS.

Por darme la vida y cuidarme tal y como lo dice tu palabra “mira que te mando que te esfuerces y seas valiente, no temas ni desmayes, porque Jehová tu dios estará contigo donde quiera que vayas”, gracias Dios te amo.

A mi “Alma Mater” por los conocimientos que me impartieron en sus aulas y formarme como una profesionista.

A mi mamá Margarita Hdez gracias mami por tu apoyo sin ti no hubiera sido posible terminar mis estudios, tu me enseñaste el buen camino de la vida, gracias por tus sabios consejos jamás te podre pagar todo lo que hiciste por mi, eres la mejor mamá del mundo, te Amo.

A mis asesores.

Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, por ser mi asesor principal de la tesis, por darme la oportunidad de realizar

A la Q.F.B. Norma Lydia Rangel Carrillo, por su ayuda en la realización de los análisis de laboratorio, por su tiempo dedicado para terminar la realización de este trabajo.

Ing. Joel Limones Avitia, por su apoyo y enseñanzas dentro del aula y fuera por sus consejos y por el tiempo dedicado para culminar este trabajo.

Ing. Fernando Montano Duran, gracias por el apoyo, disposición para terminar con mi trabajo.

Ing. Luis Ángel Bazaldua zurita, gracias por sus consejos y apoyo en la realización de este trabajo.

A PROFEPA CHIAPAS. Gracias por darme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales y en especial al Biol. José de Jesús Amaya por su apoyo y comprensión.

A CFE CENTRAL NUCLEO ELECTRICA LAGUNA VERDE, VER. Por la oportunidad de realizar mis practicas, en especial a la Lic. Rosa María.

A amiga especial. Genny Llaven Valencia, eres una de las mayores razones por las que soy feliz, tener tu amistad es un privilegio para mi, porque en las buenas y en las malas siempre estas aquí, me has enseñado que en la vida siempre es importante sonreír para ser feliz, gracias por compartir tu amistad conmigo nunca olvides que en mi mente y corazón siempre te voy a llevar.

A los mecos. Juan Diego, Ruvardo, Gilberto, Alfonso, gracias por su apoyo y estar cuando más los necesite, a veces me pregunto porque la vida están bella, ahora ya lo se ¡ porque Dios los puso en mi vida¡ siempre estarán en mi corazón.

DEDICATORIA

A DIOS.

Gracias por darme el privilegio de ser alguien en la vida y también por darme el conocimiento necesario para realizar mi objetivo “porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia.”

A mis padres.

Carlos Hdez medina y en especial a mi madre Margarita Hdez Hdez , por apoyarme , enfrentarme a una nueva vida, por sus consejos y por su amor, gracias mami te Amo.

A mis abuelos.

Catalina Bautista Hdez, María Juana Medina y Herón Santiago por su apoyo y consejos los quiero mucho.

A mis hermanos

Casandra, José A. Idalia, Karla, Josseline, por su apoyo y cariño espero ser un buen ejemplo para ustedes, son lo mejor que la vida me ha dado.

A mi tía

Yolanda Santiago Medina por su apoyo económico, y su ejemplo, la quiero mucho.

A la familia Guerrero Carrizales, Rojas Téllez, le doy gracias a Dios por a verlos puesto en mi camino, los quiero mucho.

A mi amor de un rato. Por ser mi inspiración y por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, gracias por brindarme tu comprensión y tu amor. Eres el regalo que nunca pedí, siempre te amare y te llevaré en mi corazón, doy gracias a Dios por haberte puesto en mi camino.

A mis amigos.

Siomara, Mónica , Nely, Xochitl, Nayeli, Inés, María Félix y en especial a ti Flor que me brindaste tu cariño, amor y confianza jamás te podre pagar lo que hiciste por mí, te quiero mucho.

Limber Olan cordova gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas, por tus consejos te quiero y nunca te olvidare.

A mis compañeras de internado.

Alma, Selene, Noemí, Lucia, Irene, Mari Carmen, Isiquia y Diana, por compartir su vida y tiempo conmigo.

INDICE

	Páginas
ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	3
III. OBJETIVOS.....	4
3.1. Objetivo general.....	4
3.2. Objetivo específico.....	4
IV. METAS.....	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
5.1. Panorámica de la problemática.....	5
5.2. Contaminación por Peñoles.....	6
5.3. Que es el cadmio.....	6
5.4. El cadmio en el ambiente.....	7
5.5. Efectos ambientales.....	7
5.6. Como entra y sale el cadmio del cuerpo.....	9
5.7. Efectos del cadmio a la salud.....	9
5.8. Fuentes de contaminación por cadmio.....	11
5.9. Comportamiento del cadmio en el suelo.....	11
5.10. Efectos del cadmio en plantas.....	12
5.11. Proceso de entrada de los metales pesados en plantas.....	12

5.12. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.....	14
5.13. Clasificación taxonómica del geranio.....	14
5.14. Comportamiento de los metales pesados en el suelo.....	15
5.15. Contaminación por metales pesados.....	16
5.16. Métodos para el tratamiento de suelos contaminados.....	16
5.16.1. Fitorremediación.....	17
5.16.1.1. Tipos de fitorremediación posibles.....	17
5.17. Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	18
5.17.1. Ventajas.....	18
5.17.2. Desventajas.....	19
5.18. Biorremediación.....	20
5.18.1. Biorremediación in situ.....	21
5.18.2. Biorremediación ex situ.....	23
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
6.1. Ubicación geográfica.....	24
6.2. Trabajo de campo.....	24
6.3. Trabajo de gabinete.....	25
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
7.1. Concentración de cadmio en el suelo.....	28
7.2. Concentración de cadmio en el geranio (<i>Pelargonium</i> <i>spp</i>).....	31
7.3. Concentración promedio de cadmio en el suelo y geranio (<i>Pelargonium spp</i>).....	34
7.4. Media de concentración de cadmio en suelo y total de cadmio retenido en el geranio (<i>Pelargonium spp</i>).....	36

VIII. CONCLUSIONES.....	38
IX. RECOMENDACIONES.....	39
X. LITERATURA CITADA.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELOS ALEDAÑOS A MET.-MÉX. PEÑOLES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES DETERMINADAS. ENERO - FEBRERO DE 2008.....	30
2	CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN RAÍCES, TALLOS Y HOJAS DEL GERANIO (<i>Pelargonium spp</i>), ALEDAÑAS A MET.-MÉX. PEÑOLES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES DETERMINADAS. ENERO - FEBRERO DE 2008.....	33
3	CONCENTRACIONES DE CADMIO: CADMIO PROMEDIO EN SUELO Y CADMIO PROMEDIO EN EL GERANIO (<i>Pelargonium spp</i>) A DISTANCIAS DE 100 Y 200 m DE ZONAS ALEDAÑAS A MET-MEX PEÑOLES. ENERO - FEBRERO DE 2008.....	35
4	MEDIA DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO Y TOTAL DE CADMIO RETENIDO POR EL GERANIO (<i>Pelargonium spp</i>) DE ZONAS ALEDAÑAS A MET-MEX PEÑOLES. ENERO - FEBRERO DE 2008.....	37

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de cadmio en suelos aledaños a Met- Mex Peñoles y la capacidad de retención de este metal en geranio (*Pelargonium ssp*).

El trabajo de campo se realizó en una zona aledaña a la industria Met-Mex Peñoles ubicada en Torreón Coahuila. Se tomaron muestras del suelo a una profundidad de 0 a 5 cm y muestras de geranio a nivel de raíces, tallos y hojas, en las orientaciones noreste, sureste, suroeste y noroeste. Además se obtuvieron muestras de suelo a 7000 m de distancia con orientación noreste.

Los análisis de las muestras de suelo y plantas se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Se cuantifico la concentración de cadmio en el suelo y el geranio (*Pelargonium spp*) a nivel de raíces, tallos y hojas.

Los resultados obtenidos indican que en promedio en el suelo hay una concentración en cadmio de 94.18 mg kg^{-1} , en la planta una concentración de 74.39 mg kg^{-1} , en la raíz se encuentra la mayor concentración del cadmio con 79.78 mg kg^{-1} , a 100 m y a 200 m fue de 75.63 mg kg^{-1} . Todas las determinaciones calculadas rebasan los límites máximos permisibles en suelos de los E. U. A.

Efectivamente el geranio (*Pelargonium spp*) tiene la capacidad de retener cantidades de cadmio en sus raíces, tallos y hojas y se puede considerar como una fitorremediadora y también puede contribuir al medio ambiente para restaurar el suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son componentes naturales del medio ambiente, sin embargo, su acumulación en los suelos es de preocupación ya que están siendo aplicados a los suelos en cantidades crecientes a través de los años. El término “metal pesado” se refiere a los metales con una densidad mayor que un cierto valor, usualmente 5 a 6 g/cm⁻³.

Las concentraciones naturales de Cd, Hg y Pb en mg kg⁻¹ de suelo son 0,01-1,0; <0,01-0,52; y 0-200, y los límites para la concentraciones máximas en suelos son 3, 1,5 y 300 mg kg⁻¹, respectivamente. El suelo es uno de los mayores reservorios en los cuales se acumula la contaminación ambiental, el 90 % de la contaminación ambiental producida, es retenida en las partículas de suelo y cerca del 9 % es interceptada en los sedimentos acuáticos.

Particularmente, la contaminación de un suelo con metales pesados es de preocupación ya que éstos presentan un alto tiempo de residencia en el suelo, estableciéndose un equilibrio dinámico con la hidrósfera, atmósfera y biósfera y de esta forma alterando el ecosistema, incluyendo al ser humano (Huang, 1999).

En los últimos años la producción de Cd y Zn ha aumentado considerablemente y con ello las emisiones al suelo, debido a la presencia de estos elementos en muchas mezclas metálicas y su dispersión en la atmósfera a partir de industrias de manufacturas metálicas o fundiciones y además, forman parte de muchos fertilizantes fosfatados.

Los metales pesados son elementos potencialmente tóxicos cuya presencia en el medio ambiente se ha incrementado notablemente, fundamentalmente por la acción del hombre, la contaminación metálica supone una amenaza medioambiental importante para los seres vivos ya que diversos metales que son micronutrientes esenciales como el cobre y el zinc, resultan tóxicos en

concentraciones elevadas, mientras que en otros como cadmio, plomo y mercurio son tóxicos a dosis mínimas, los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda.

Los niveles de cadmio en plantas son más altos cuando están cerca del foco emisor de cadmio.

Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, y la erosión.

La biorremediación es una alternativa biológica para el tratamiento de suelos contaminados, otra alternativa es la fitorremediación, ésta se refiere al uso de plantas que tienen la capacidad de remover el contaminante.

II. JUSTIFICACIÓN

Los metales pesados son un tema de actualidad en el campo ambiental y en el de salud pública. Los daños que causan a la salud son tan severos, aunque muchas veces asintomáticos que las autoridades de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población a estos tóxicos, en particular la infantil.

La contaminación del suelo por cadmio es consecuencia de las emisiones naturales como las erupciones volcánicas (Labunska *et al.*, 2000) y antropogénicas como la industria minera, de fertilizantes y de procesos electrolíticos como la galvanoplastia, entre otros (OECD, 1996).

Los suelos pueden contaminarse por metales debido al contacto directo con residuos de actividades industriales, por lixiviado de residuos, y depósito de lodos. La contaminación por metales en suelo se encuentra influenciada por sus características físico-químicas, como pueden ser el pH, salinidad, conductividad etc. La distribución de metales pesados en los perfiles de suelos, así como su disponibilidad, está controlada por parámetros como las propiedades intrínsecas del metal y las características de los suelos (Ramos *et al*, 2001).

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar la concentración de cadmio en suelos aledaños a Met – Mex Peñoles y la capacidad de retención de este metal en Geranio (*Pelargonium spp*).

3.2. Objetivo específico

Determinar la concentración de cadmio en el suelo en zonas aledañas y lejanas a Met- Mex Peñoles.

Determinar la concentración de cadmio absorbido por la especie del geranio (*Pelargonium spp*), a nivel de tallos, raíces y hojas.

IV. METAS

1.- obtener la concentración de cadmio en suelos aledaños y lejanos a Met-Mex Peñoles.

2.- obtener la concentración de cadmio en raíces, tallos y hojas del geranio.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Panorámica de la problemática

Debido a la gran cantidad de actividad industrial a lo largo del último siglo, la contaminación por metales pesados en el ambiente es un serio problema, muchos de estos metales tóxicos entran al ambiente por la combustión de combustible fósil, la minería y en los procesos de fundición (Fernández, 1991).

Met-Mex peñoles es la fundidora y refinadora de plomo en México, es la procesadora más grande en América Latina y la cuarta del mundo por su volumen de producción.

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

En 1961 los trabajadores de Peñoles pusieron una queja ante las autoridades federales de salud, dichas autoridades realizaron dos estudios en 1962, los cuales estuvieron enfocados a evaluar si en la planta y sus alrededores existía contaminación que pudiera ser atribuida a esta empresa.

En ello se encontró que la contaminación atmosférica debida a las emisiones de arsénico, bióxido de azufre, cadmio y plomo generado por Peñoles era grave, se

demonstró que estos contaminantes eran dispersados por los vientos dominantes hacia el oeste y el sur de la ciudad (Escobar *et al.*, 1964).

La primera queja en contra de Peñoles fue en 1937 desde entonces han sido recurrentes las quejas de la comunidad sobre las molestias que se atribuyen a las actividades de la empresa (Vieniegra *et al.*, 1964).

5.2. Contaminación por Peñoles

El envenenamiento por metales pesados entre los pobladores de la Comarca Lagunera es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para la salud. Sin embargo, los estudios, las denuncias y las acciones que se han realizado entorno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que sea el más tóxico de los tres de hecho ocurre lo contrario sino a que, es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y, por ende, causa más problemas y más preocupación en el mundo (Valdés, 1999).

5.3. Que es el cadmio

El cadmio es un elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20 °C (68 °F), el cadmio es muy resistente a la corrosión y se utiliza para su electro deposición en otros metales, especialmente el acero y el hierro. El cadmio puede representar un peligro para el medio ambiente y en muchos países se han adoptado medidas

legislativas para reducir su uso y la consiguiente dispersión ambiental de cadmio (América, 2004).

5.4. 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 permanece en el organismo por largo tiempo y puede acumularse después de años de exposición a bajos niveles (DINAMA, 2008).

5.5. Efectos ambientales

De forma natural grandes cantidades de cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación.

Las aguas residuales con cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en los suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son, por ejemplo, la producción de zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles.

Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias (Lenntech, 2008).

Otra fuente importante de emisión de cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos por las compañías productoras.

El cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el cadmio está presente en el suelo éste puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida se puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir (Lenntech, 2008).

El cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando éstos comen muchas plantas diferentes, las vacas pueden tener grandes cantidades de cadmio en sus riñones debido a éstos. Las lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por cadmio, pueden morir a muy bajas concentraciones y esto tiene consecuencias en la estructura del suelo. Cuando las concentraciones de cadmio en el suelo son altas, puede influir en los procesos del suelo de microorganismos y amenazar a todo el ecosistema del suelo.

En ecosistemas acuáticos el cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al cadmio pueden variar ampliamente entre organismos acuáticos. Los organismos de agua salada, se sabe que son más resistentes al envenenamiento por cadmio que organismos de agua dulce. Animales que comen o beben cadmio algunas veces tienen la presión

sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro (Lenntech, 2008).

5.6. Cómo entra y sale el cadmio del cuerpo

El cadmio puede entrar al cuerpo a través de los alimentos, el agua o las partículas suspendidas en el aire que usted respira, así como al inhalar el humo del cigarrillo que contiene cadmio.

Una mayor cantidad de cadmio puede ingresar a su cuerpo a través del aire o el humo que inhala (25 a 60 % del cadmio presente) que el que ingiere al consumir alimentos (de 5–10 % entra al cuerpo). El cadmio que no retiene su organismo se exhala a través de los pulmones.

El cadmio de los alimentos o el agua que su cuerpo no retiene, sale de su organismo en las heces. Si usted no come alimentos que contienen suficiente hierro u otros nutrientes, es más probable que retenga más cadmio que lo usual. Es casi improbable que el cadmio entre al cuerpo a través de la piel.

Una pequeña porción del cadmio que ingresa al cuerpo se elimina lentamente por la orina y las heces. El cuerpo puede convertir casi todo el cadmio en una forma que no es dañina, pero el exceso de cadmio puede superar la capacidad que tiene el hígado y los riñones de modificar este elemento, y el cadmio que se queda en su forma dañina puede perjudicar la salud (ATSDR, 1999).

5.7. Efectos del cadmio a la salud

El cadmio puede también producir efectos en el tejido óseo (osteomalacia, osteoporosis) en seres humanos y los animales. Además, el cadmio también

puede estar relacionado con un aumento de la presión arterial y efectos sobre el miocardio de los animales. El producto diario del promedio para los seres humanos se estima como 0.15µg en el aire y 1µg en el agua (Lenom, 2001).

El cadmio es biopersistente y, absorbido una vez por un organismo, sigue siendo residente por muchos años (décadas del excedente para los seres humanos) aunque se excreta eventualmente. El cadmio del aire, agua y alimentos tiene potencial de afectar la salud de las personas, principalmente de aquellas que viven en regiones industrializadas. El cadmio afecta la función placentaria, pudiendo atravesar la barrera trofoblástica y provocar alteraciones en el desarrollo del feto; puede, también, ser excretado por la leche. En seres humanos, la exposición a largo plazo se asocia a la disfunción renal. La alta exposición puede conducir a la enfermedad obstructora del pulmón y se ha ligado al cáncer de pulmón, aunque los datos referentes al último son difíciles de interpretar debido a los diferentes factores que originan el cáncer.

El cuerpo humano no necesita cadmio en ninguna forma. El cadmio es dañino en dosis muy pequeñas. El envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños. 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.

Las medidas preventivas contra el envenenamiento por cadmio giran en torno a evitar su ingesta. Incrementar los hábitos de higiene en las zonas donde exista este metal en el polvo; no fumar; beber preferentemente agua purificada y usarla para cocinar y lavarse los dientes; no usar utensilios de plástico para preparar, guardar o servir alimentos; evitar que los niños mordisqueen juguetes de plástico, bolígrafos, etc.; evitar los mariscos y las vísceras pues acumulan el cadmio, también ayuda tomar megadosis de vitamina C (varios gramos al día); tomar alimentos ricos en bioflavonoides (centeno germinado, polen de abeja, por

ejemplo); tomar levadura de cerveza que contiene el complejo B y selenio (ATSDR, 1999).

El objetivo de numerosos estudios analizados por el comité de expertos de la FAO/OMS, revelan que la mayoría de los alimentos tienen una concentración muy baja de cadmio, de entre 0.01 y 0.05 miligramos por kg (Fernández, 2003).

5.8. Fuentes de contaminación por cadmio

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Además, los metales originados en las fuentes de emisión generadas por el hombre (antropogénicas), se encuentran en la atmósfera como material suspendido que respiramos. Por otro lado, las aguas residuales no tratadas, provenientes de minas y fábricas, llegan a los ríos, mientras los desechos contaminan las aguas subterráneas. Cuando se abandonan metales tóxicos en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos (Durham, 2004).

5.9. Comportamiento del cadmio en el suelo

El comportamiento del cadmio incorporado al suelo está en función 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 diversas concentraciones, dependiendo de varios factores tales como la composición de él y de los compuestos que el hombre usa para la agricultura; de la contaminación que exista en la naturaleza. Por ejemplo, se ha observado que si el suelo es de tipo ácido se lleva a cabo un intercambio de iones, con lo cual se convierte en un elemento que toman las plantas fácilmente y de allí sigue la ruta de la cadena alimenticia hasta llegar a los seres humanos (Serrano, 1997).

Con relación a los fertilizantes fosforados, la principal materia prima de éstos es la roca fosfórica, constituida principalmente por apatita, que además de fósforo contiene cadmio en cantidades que varían entre 8 y 500 mg Kg⁻¹(Laegreid *et al*, 1999).

5.10. Efectos del cadmio en las plantas

El cadmio en algunas plantas produce ciertos efectos como disminución de la cantidad de clorofila y la marchitez, llegando al caso de matarlas. Como es un elemento persistente y, en general, las plantas no lo pueden eliminar, se quedan en su estructura, principalmente en la raíz en donde se concentra más y se ha encontrado que algunas especies como el arroz y el trigo son sensibles a grandes cantidades de cadmio, les afecta en su desarrollo produciendo una especie de anemia en ellas, pues no permiten que el bióxido de carbono se les fije y consecuentemente la fotosíntesis va disminuyendo (Ibidem, 1997).

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

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

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

2.- Las raíces captan a los metales hidratados o a los complejos metal-quelante por medio de sistemas de transporte como bombas primarias, canales iónicos y transportados, dentro de las células los metales son quelados principalmente por fitoquelatinas, el exceso de metales es transportado a la vacuola (Maqueda, 2003).

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

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

La fitorremediación aprovecha los procesos naturales de las plantas. En estos procesos se incluye la captación química, el metabolismo de la planta y los impactos físicos y químicos de las raíces de las plantas, ya que en éstas es donde se absorbe y precipita y se concentran los contaminantes, también son eficientes extrayendo el agua contenida en la tierra, este extracto se sigue hacia la parte superior por el xilema. La transpiración (pérdida de vapor de agua de la planta)

ocurre principalmente por los estomas (apertura de las hojas y tallos donde ocurre el intercambio de gases) (EPA, 2002).

5.12. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados

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

5.13. Clasificación taxonómica del geranio

Nombre científico o latino: *Pelargonium* spp

Nombre común: geranio

Familia: Geraniaceae.

Origen: Sudáfrica.

Características botánicas: Planta perenne algo suculenta, no muy ramificada, altura normalmente se ven de 30-50 cm de altura. Puede alcanzar hasta 2 m como máximo, flores simples o dobles, provistas de pétalos alargados, reunidas en umbelas, coloreadas de rojo, blanco, rosa, rojovioláceo, etc. floración: ininterrumpida entre primavera y otoño. Usos: para adornar balcones, terrazas, entradas de casas y para adornar jardines. Es una planta muy apreciada por su abundante floración estival, luz a pleno sol para que tenga una abundante floración, o semisombra si es un clima caluroso y con mucha luz. Crece bien en todo tipo de terrenos, prefiriendo los fértiles y abonados. Riegos normales, diarios,

durante el período estival. Multiplicación: por esqueje en primavera o por semillas en otoño e invierno (Infoagro, 2003).

5.14. Comportamiento de los metales pesados en el suelo

La distribución de metales pesados en los perfiles de suelos, así como su disponibilidad, está controlada por parámetros como las propiedades intrínsecas del metal y las características de los suelos (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 la actividad microbiana, son factores que afectan el comportamiento de los metales. Los metales 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 lixiviados varían 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 (Ramos *et al.*, 2001).

5.15. Contaminación por metales pesados

Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm³ 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).

5.16. Métodos para el tratamiento de suelos contaminados

Se han desarrollado un gran número de opciones de remediación para suelos contaminados, mismos que se puedan clasificar de diferentes maneras. Una de las clasificaciones más comunes se hace en base a su funcionamiento teniendo en cuenta técnicas biológicas, fisicoquímicas y térmicas. Otra clasificación se basa en el efecto sobre el contaminante, de tal forma que se tienen técnicas de retención, extracción, separación y destrucción del contaminante (Cortinas y Mosler, 2002).

Para llevar a cabo una adecuada elección de la técnica de remediación, hay que establecer en primer lugar el diagnóstico preciso del tipo de contaminante, dimensión de la contaminación y futuro uso del lugar contaminado, que de acuerdo a la legislación puede ser: agrícola, forestal, recreativo, residencial, comercial o industrial (Lobo, 2005).

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

a) Conocer perfectamente el problema de contaminación con información reciente.

b) Identificar las características de una técnica de remediación limpia.

c) Disponibilidad de la técnica seleccionada, conocer las ventajas, desventajas y limitaciones.

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

Biológicos: como pueden ser la fitorremediación y biorremediación

Fisicoquímicos: como son la, solidificación, estabilización, extracción de vapores.

Térmicas: que son la destrucción por inyección de vapores, incineración.

5.16.1. Fitorremediación

La fitorremediación es una tecnología en la cual usan plantas para limpiar sitios contaminados, el término de fitorremediación se deriva de Phyto= planta y remediación=corrección, remediación (EPA, 2001).

5.16.1.1 Tipos de fitorremediación posibles son:

Fitoextracción.- Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (principalmente, la parte aérea) contaminantes como, por ejemplo, el cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc (Lumelli, 2006).

Rizofiltración.- Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos como por ejemplo, el cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc, isótopos radioactivos, compuestos fenólicos (Pivetz, 2001).

Fitoestabilización.- Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a áreas subterráneas o al aire. Ejemplo, lagunas de desecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados (Van Deuren *et al.*, 1997).

Fitoestimulación.- Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos) hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc (Joner y Leyval, 2003).

Fitovolatilización.- Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración. Por ejemplo, mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano) (Nuñez *et al.*, 2004).

Fitodegradación.- Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos. Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzono, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos (Lumelli, 2006).

5.17. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

5.17.1. Ventajas

- 1.- Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos contaminados (INEEL, 2002).
- 2.- Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos (INEEL, 2002).
- 3.- Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos (EPA, 2000).
- 4.- Los costos de la fitorremediación comparados con otras técnicas de remediación son más bajos (INEEL, 2002).
- 5.- No presenta impacto destructivo en la fertilidad de los suelos. Por el contrario, es probable que la presencia de las plantas mejore la condición global del suelo (ITRC, 1999).
- 6.- Puede aplicarse *in situ*, en tierra poco profunda y además en cuerpos de riego (Ernst, 1996).

5.17.2. Desventajas

- 1.- El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas (ITRC, 1999).
- 2.- Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados. Por ejemplo con el crecimiento y la biomasa bajo la remediación de metales no podrá lograrse dentro de 10-20 años (ITRC, 1999).
- 3.- La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.

4.- Un sistema de fitorremediación puede perder su efectividad durante el invierno, ya que en este tiempo el crecimiento de la planta se retarda o se detiene (EPA, 2000).

5.18. Biorremediación

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

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

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

La biorremediación utiliza la habilidad de los microorganismos para degradar compuestos orgánicos. Esta tecnología está basada en el uso de organismos naturales o mejorados genéticamente para recuperar sitios contaminados y proteger el ambiente (Marivela *et al.*, 2002).

5.18.1. Biorremediación *in situ*

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

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

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

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

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

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

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

5.18.2. Biorremediación ex situ

El material contaminado se mezcla con agentes de volumen (paja, aserrín, estiércol, desechos agrícolas), que son sustancias orgánicas sólidas biodegradables, adicionadas para mejorar el balance de nutrientes, así como para asegurar una mejor aireación y la generación de calor durante el proceso (Alexander 1994; Ewis *et al.* 1998 y Sample *et al.*, 2001).

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

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

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

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Torreón Coahuila, específicamente en áreas aledañas a la industria Met- Mex Peñoles ubicada al sur de la ciudad, durante los meses de Enero - Marzo del 2008. El municipio de Torreón se localiza en la parte suroeste del estado de Coahuila, en las coordenadas 103° 26´ 33" longitud oeste y 25° 32´ 40" latitud norte, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 1999).

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

6.2. Trabajo de campo

Muestreo en suelos. Se tomaron muestras en bolsas de plástico de aproximadamente 500 g del estrato de 0 a 5 cm de profundidad de suelo en un área de 20x20 cm., se colectaron 1 muestra por cada orientación, a 100 y 200 m de distancia con respecto a la metalúrgica, y en las orientaciones sureste, suroeste, noreste, y noroeste se repitió el procedimiento, y dos muestras se colectaron en un área lejana a la industria a una distancia de aproximadamente 7,000 m hacia el noreste tomando como referencia a Met-Mex Peñoles, en la colona Valle Verde.

Las razones por la cual se colectó la muestra alejada a Met-Mex Peñoles fueron:

- a) Tenerlas como testigo.
- b) Saber hasta dónde se transporta el cadmio

En total las muestras recolectadas de suelo fueron 10.

Muestreo en geranio.- Se realizó el muestreo de geranio (*Pelargonium ssp*), en áreas cercanas a Met-Mex. Peñoles, en distancias que variaron entre 100 y 200 m. A nivel de raíces las muestras obtenidas fueron a una profundidad de 0-5 cm. A nivel de tallo y hojas las muestras fueron sacadas a alturas que variaron entre 20 a 30 cm. Para cada orientación (sureste, suroeste, noreste y noroeste) se obtuvieron muestras por cada raíz, tallo y hoja de la especie. En total se colectaron 24 muestras.

6.3. Trabajo de gabinete

Tanto las muestras del geranio (*Pelargonium ssp*) como de suelos fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la UAAAN UL, en donde se determinó la concentración de cadmio.

El análisis de la concentración de cadmio en el suelo.- Las muestras de suelos fueron secadas y tamizadas en malla de 2 mm, se pesaron 5 g de suelo, fueron colocados en botes de plástico con tapón. Se agregaron 50 ml de ácido nítrico 4 molar (260ml/litro), se colocaron a baño María por 4 horas a 70 °C, se agitaron por una hora, se filtraron y se recogió el filtrado, y por último se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica.

Cálculos:

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

Donde:

Ppm = partes por millón

Cd = cadmio

CAA = concentración de cadmio leída

DM = dilución en masa 50/5

DV= en caso de ser necesario

El análisis de la concentración de cadmio en geranio (*Pelargonium ssp*).- Se pesó el material vegetal (raíces, tallos y hojas); 0.50 gr el cual anteriormente fue puesto a secar y moler, se colocó en matraces microkjeldahl de 30 ml o tubos de digestión. Se adicionaron 6 ml de mezcla digestora. Se dejó en predigestión por 12 horas.

Se colocaron los matraces, en la unidad digestora y se calentaron a 150 °C hasta que desaparecieron los humos pardos de los óxidos de nitrógeno.

Este proceso tomó entre 35 a 40 minutos. Durante esta etapa se giró el matraz para lavar las paredes de todo residuo orgánico. Se dejó enfriar por un rato y luego se transfirió cuantitativamente a un matraz aforado a 25 ml y se aforó con agua desionizada.

Las muestras fueron leídas mediante Absorción Atómica.

Cálculos:

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

$$10,000$$

Donde:

Ppm = partes por millón

Cd = cadmio

CAA = concentración de cadmio leída

DM = dilución en masa 50/5

DV= en caso de ser necesario

Finalmente los datos obtenidos fueron analizados y comparados con los límites máximos permisibles según normas extranjeras y mexicanas. Asimismo se obtuvieron medias y concentraciones mínimas y máximas de cadmio.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Concentración de cadmio en el suelo. En el Cuadro 1 se puede observar las diferentes concentraciones de cadmio tomadas de cuatro puntos diferentes que son el sureste, suroeste, noreste, noroeste, aledañas a Met-Mex Peñoles y un punto lejano tomada en Valle Verde, la concentración de cadmio es superior a los límites máximos permisibles establecido por Estados Unidos de América. En este Cuadro se puede observar que la concentración máxima de cadmio en el suelo fue de 123.5 mg kg^{-1} a 100 m de distancia, mientras que en la distancia de 200 m se encontró una concentración de 101.5 mg kg^{-1} siendo el noroeste donde se encontró la mayor concentración de cadmio, de las dos distancias 100 m y 200 m el que más contenido tiene es el de 100 m con un promedio de 98.62 mg kg^{-1} y en la distancia de 200 m se encontró con un promedio de 89.75 mg kg^{-1} . Aunque con poca diferencia siempre las concentraciones de cadmio localizadas más cerca de la fuente contaminante fueron mayores que las más alejadas.

La concentración de cadmio encontrada en la zona lejana fue de 72.5 mg kg^{-1} en la primera muestra y de 70.5 mg kg^{-1} en la segunda, como puede verse fue muy poca la diferencia entre ambos datos. La importancia de estos datos fue para saber sobre la distribución que puede alcanzar el cadmio desde la fuente emisora y además, posiblemente existan otras fuentes contaminantes de cadmio.

En todos los datos obtenidos se rebasaron el límite máximo permisible en suelos de los EUA, que es de 20 mg kg^{-1} .

Según Ahumada y Schalscha (1995), el comportamiento del cadmio incorporado al suelo está en función de una 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.

Como es sabido los suelos de la Comarca Lagunera por el hecho de estar ubicados en zonas áridas, el pH que tienen es básico, lo que influye para que el cadmio no sea tan fácilmente incorporado a las cadenas tróficas. Ya que si el suelo fuera de tipo ácido entonces se llevaría a cabo un intercambio de iones, con lo cual el cadmio se convierte en un elemento que toman las plantas fácilmente y de allí seguiría la ruta de la cadena alimenticia hasta llegar a los seres humanos Serrano (1997). De acuerdo a este investigador, en relación al cadmio en el suelo, es positivo que los suelos sean básicos.

Los datos obtenidos en esta investigación concuerdan con lo que reportaron Escobar *et al.* (1964), que dicen que la contaminación atmosférica debida a las emisiones de arsénico, bióxido de azufre, cadmio y plomo generado por Peñoles son graves, en este caso en específico el cadmio, ya que se encuentra muy por encima del límite máximo tolerable de los suelos de los EUA. De acuerdo a lo que dicen los mismos investigadores, posiblemente el viento sea la razón por la cual en la colonia Valle Verde, también los suelos contengan cadmio pero en una concentración menor a la hallada aledañosamente a Peñoles, pero también muy por encima del máximo tolerable en suelos de los E.U.A.

CUADRO 1. CONCENTRACION DE CADMIO EN SUELOS ALEDAÑOS A MET-MEX PENOLES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES DETERMINADAS. ENERO –FEBRERO 2008.

Orientación	Distancia		Límites máximos permisibles en suelos de E. U. A.
	100 m	200 m	
	Concentración de cadmio		
	Mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	Mg kg ⁻¹
Sureste	99.0	88.5	
Suroeste	97.5	86.0	
Noreste	74.5	82.0	20
Noroeste	123.5	101.5	
Media	98.62	89.75	
Noreste (colonia Valle Verde)	72.0	70.5	20

7.2. Concentración de cadmio en geranio (*Pelargonium spp*). En el Cuadro 2 se pueden apreciar las diferentes concentraciones máximas de cadmio en geranio (*Pelargonium spp*) en las cuatro orientaciones diferentes aledañas a Met-Mex Peñoles.

A nivel raíces. La concentración máxima de cadmio encontrada en el geranio fue de 84.97 mg kg⁻¹ a 100 m de distancia y en orientación de suroeste, siguiéndole la concentración de 83.78 mg kg⁻¹ en los mismos 100 m pero con orientación noroeste, la mínima fue de 72.10 mg kg⁻¹ con una orientación noreste a 200 m de distancia a Met-Mex Peñoles. La concentración promedio de cadmio a 100 m fue de 79.78 mg kg⁻¹ y a 200 m fue de 75.63 mg kg⁻¹.

A nivel tallos. La concentración promedio máxima de cadmio fue de 72.27 mg kg⁻¹ a 200 m de distancia y 71.27 mg kg⁻¹ a 100 m de distancia a Met-Mex Peñoles. La concentración mínima de cadmio fue 69.64 mg kg⁻¹ con una orientación sureste a 200 m y con una máxima de 73.37 mg kg⁻¹ con una orientación noreste y a 200 m de distancia.

A nivel hojas. La concentración máxima de cadmio encontrada fue de 75.76 mg kg⁻¹ con orientación noreste a 200 m, mientras que la mínima encontrada fue 70.69 mg kg⁻¹ con orientación suroeste a 200 m de distancia a Met-Mex Peñoles. La concentración promedio de cadmio a nivel de hojas a 100 m fue 72.13 mg kg⁻¹ y a 200 m fue de 72.16 mg kg⁻¹.

De acuerdo a estos resultados se puede decir que la mayor concentración de cadmio está en las raíces, aunque los valores son semejantes entre los tres órganos analizados.

Según Silvio y Orroño (2007), para que una especie sea considerada fitorremediadora de metales pesados, la concentración del metal debe ser mayor en tallos que en raíz, lo cual no se presentó en el geranio, ya que la concentración de cadmio fue mayor en raíces, sin embargo no se le puede descartar, ya que la diferencia en las concentraciones encontradas no solo en los tallo sino también en las hojas, son muy semejantes a las de las raíces, si se considera esta situación entonces el geranio si es una fitorremediadora.

Ibidem (1997), en una investigación sobre contaminación por cadmio en plantas, menciona que este metal es un elemento persistente y, en general, las plantas no lo pueden eliminar, se queda en su estructura, principalmente en la raíz en donde se concentra más y se ha encontrado que algunas especies sensibles, como el arroz y el trigo, lo absorben en gran cantidad en los suelos contaminados, en estas especies el cadmio, les afecta en su desarrollo produciendo una clorosis en ellas, pues no permite que el bióxido de carbono se les fije y consecuentemente la fotosíntesis va disminuyendo.

Según Maqueda (2003), las raíces tienen la capacidad de captar metales pesados hidratados o a los complejos por medio de sistemas de transporte como bombas primarias, canales iónicos y transportados. De acuerdo a los datos obtenidos en esta investigación, se confirma lo que dice Maqueda, ya que no solo en la raíz se encontró cadmio, sino también en tallos y hojas.

CUADRO 2. CONCENTRACION DE CADMIO EN RAICES, TALLOS Y HOJAS DEL GERANIO (*Pelargonium spp*) ALEDAÑOS A MET-MEX PEÑALES, SEGÚN ORIENTACIONES DETERMINADAS. ENERO- FEBRERO DE 2008.

Geranio (<i>Pelargonium spp</i>)	Distancia					
	100m	200m	100m	200m	100m	200m
	Raíces		Tallos		Hojas	
Concentración de cadmio	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Sureste	76.22	73.69	70.85	69.64	71.19	70.77
Suroeste	84.97	77.42	72.36	72.84	71.17	70.69
Noreste	74.18	72.10	70.63	73.37	74.84	75.76
Noroeste	83.78	79.31	71.27	73.24	71.35	71.44
Promedio de concentración de cadmio	79.78	75.63	71.27	72.27	72.13	72.16

7.3. Concentraciones promedio de cadmio en suelo y geranio (*Pelargonium spp*). En el Cuadro 3 se puede observar que la concentración media del cadmio en suelo a 100 m fue 98.62 y 89.75 mg kg⁻¹ a una distancia de 200 m a Met-Mex Peñoles. Esto corrobora que a 100 m de distancia hay más concentración de cadmio que a 200 m, aunque cabe decir que es poca la diferencia.

La concentración media total de cadmio en el geranio a 100 m fue 74.39 mg kg⁻¹ y 73.35 mg kg⁻¹ a 200 m de distancia.

La concentración media de cadmio en el suelo fue de 94.18 mientras que en el geranio fue de 73.87, se puede ver que existe poca diferencia entre ambos datos lo cual significa que el geranio tiene buena capacidad de absorción y retención de este metal.

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

Cuando se abandonan metales tóxicos en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos Durham (2004).

Según Maqueda (2003), las plantas denominadas fitorremediadoras, poseen como atributos ideales la capacidad para acumular el o los metales de interés, preferiblemente en la parte superior de la planta y son tolerantes a la concentración del metal acumulado.

Los datos obtenidos de cadmio en el geranio, no concuerdan con lo afirmado por Serrano (1997), ya que este metal fue absorbido por las raíces aún a pesar de que los suelos son de pH básico.

CUADRO 3. CONCENTRACIONES DE CADMIO: CADMIO PROMEDIO EN SUELO Y CADMIO PROMEDIO EN GERANIO (*Pelargonium spp*) A DISTANCIAS DE 100 Y 200 M DE ZONAS ALEDAÑAS A MET-MEX PEÑALES. ENERO-FEBRERO DE 2008.

Concentración de cadmio	Distancias		Media de concentración de cadmio mg kg ⁻¹
	100 m mg kg ⁻¹	200 m mg kg ⁻¹	
Suelo	98.62	89.75	94.18
Geranio (<i>Pelargonium spp</i>)			
Media	74.39	73.35	73.87

7.4. Media de concentración de cadmio en suelo y total de cadmio retenido por el geranio (*Pelargonium* spp)

En el Cuadro 4 se observa que la concentración de cadmio en el suelo es mucho más baja que en el geranio (*Pelargonium* spp) (94.18 contra 221.61 mg kg⁻¹), lo que indica que esta especie es buena fitorremediadora.

El riesgo de que haya elevadas concentraciones de cadmio en los suelos es enfatizado por Lenntech (2008), que afirma que este metal es fácilmente adsorbido por la materia orgánica del suelo, esto puede ser extremadamente peligroso, ya que al incorporarse a las cadenas tróficas puede incrementar los daños causados. Este es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. Si en esas cadenas tróficas participa el ser humano, en éste se manifestarán los daños que según Lenom (2001), el cadmio puede producir.

Con los datos obtenidos en esta investigación se confirma lo que dice Durham (2004), ya que no solo se encuentra cadmio en suelos sino también en el geranio y con una concentración mayor que en el suelo.

CUADRO 4. MEDIA DE LA CONCENTRACION DE CADMIO EN SUELO Y TOTAL DE CADMIO RETENIDO POR EL GERANIO (*Pelargonium* spp) DE ZONAS ALEDAÑAS A MET-MEX PEÑOLES. ENERO-FEBRERO DE 2008.

Parámetros	Concentración de cadmio Mg kg ⁻¹
Media en suelo	94.18
Total en geranio (<i>Pelargonium</i> spp)	221.61

VIII. CONCLUSIONES

Dada las circunstancias y el grado de contaminación por metales pesados en suelos, se ha visto la necesidad de utilizar técnicas de remediación, rehabilitación y restauración de los suelos contaminados, la fitorremediación es una buena técnica.

Los resultados de esta investigación demuestran la alta concentración de cadmio en el suelo que rebasan los límites máximos permisibles de la normatividad de los EUA, es necesario tomar acciones rápidas y adecuadas para solucionar esta problemática.

Los resultados obtenidos demuestran una elevada concentración de cadmio tanto en raíces, como en tallos y hojas, por lo que se comprobó que efectivamente el geranio (*Pelargonium* spp) es una planta que tiene la capacidad de retener el cadmio, sin que se vea afectado el estado de salud ni las funciones que tiene que llevar a cabo para su sobrevivencia. Se puede considerar que es una fitorremediadora de este metal, y asimismo puede contribuir con la restauración de suelos contaminados con el cadmio.

Aunque en el suelo se hayan encontrado elevadas concentraciones de cadmio, esta situación no ha sido un problema para que plantas como el geranio (*Pelargonium* spp) tengan un crecimiento y desarrollo aceptable.

La concentración de cadmio que se encontró en la zona lejana a Met-Mex Peñoles, posiblemente se deba al transporte de este elemento provocado por el viento, otras posibilidades pueden ser la combustión interna de los vehículos que circulan en esta área y el desecho de pilas.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda que la empresa reduzca significativamente la emisión de este contaminante al ambiente.

En México no existe ninguna Norma Oficial Mexicana ecológica que regule la concentración máxima de cadmio en suelo, que a su vez ha estado causando daños a la salud humana y a las plantas, por lo que es necesario que se legisle al respecto.

Se recomienda que se sigan realizando investigaciones de este tipo, con periodos, mínimos de un año, y con el suficiente número de muestras que sean representativas, para ver el comportamiento de este metal en el ambiente.

En consideración a la buena capacidad remediadora del geranio es necesario formar brigadas que monitoreen la condición física de esta especie, ya que si mueren o se secan ramas y hojas que caen al suelo, esto va hacer que poco a poco se incorpore cadmio al suelo, ocasionando mayor contaminación. Al formarse y activarse las brigadas se estará en condiciones de sacar las plantas y/o partes de las plantas en mal estado y alejarlas lo más lejos posible y darles un confinamiento.

Se recomienda apoyar la investigación sobre la fitorremediación y biorremediación ya que es una de las técnicas que tiene como objetivo retener, asimilar, metabolizar o aislar los metales pesados, radiactivos y compuestos orgánicos contaminantes que se encuentran en el medio ambiente, por medio de la combinación de plantas y microorganismo con la capacidad para absorber, retener, degradar y transformar sustancias toxicas altas a una menor concentración.

X. LITERATURA CITADA

- Abed, R., N. Safi, J. Köster, D. Beer, Y., Nahhal, J. Rullkötter y F. García. 2002. "Microbial diversity of a heavily polluted microbial mat and its community changes following degradation of petroleum compounds." *Applied and environmental microbiology*: Vol 5. Pág 1674-1683.
- Ahumada, I. y Schalscha E.1995. Efecto de la adsorción de cadmio y cobre en suelos. *Agrochimica*, Pisa, Vol. 39, Pág. 101-110.
- Alexander, M. 1994. "Biodegradation and bioremediation." Academic press. San Diego. Pág. 302.
- Alexander, M. 1994. How toxic are toxic chemicals in soil. *Environ. Contam. Toxicol.* Pág. 274.
- Alonso J., G. y M. A. Melgar J.M. 2003. The Concentrations and Bioconcentration Factors of copper Zinc in edible mushrooms. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Pág. 203.
- Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soils. Second Edition. Blackie and Professional, London, Glasgow, U.K. Pág. 332
- América A. L. 2004. Met-Mex Peñoles y los niños de Torreón. Consultora en Toxicología Ambiental y Evaluación de Riesgos. Xalapa, México. <http://www.sertox.com.ar/retel/default.htm>.
- ATSDR. 1999. División de toxicología y medicina ambiental. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Environmental Medicine 1600 Clifton Road NE, Mailstop F-32 Atlanta, GA 30333 .Pág. 203.

- Arroyo, E. y. Q., J. 2002 (en línea). "Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos." Geocisa. División de Protección ambiental de suelos. <http://www.geocisa.com>. (Consultada el 15 de febrero de 2008).
- Colombo, L., D. Mangione, S. Bellicioni and A. Figlioglia. 1998. Soil profile distribution of heavy metals in a soil amended with sewage sludge for eight years. *Agr. Med. Intern. J. Of Agric. Sci.* Pág. 273-283.
- Crawford, J., S. Traina y O. Touvinen. 2000. "Bacterial degradation of atrazine in redox potential gradients in fixed-film sand columns." *Soil Science Society of America journal*. Vol 64. Pág 624-634.
- DINAMA. 2008 (en línea). Dirección Nacional de Medio Ambiente glosario técnico. http://www.mvotma.gub.uy/dinama/index.php?option=com_glossary&func=display&letter=C&page=1&catid=53&Itemid=120 (Consultada el día 05 de Febrero de 2008).
- Durham, S. 2004. Una planta delicada puede limpiar suelos contaminados por cadmio. *Edafología y Química Agrícola*. Pág. 78-85.
- EPA 2000 (en línea). "Introduction to phytoremediation. National Risk management research laboratory. <http://www.aehs.com/journals/phytoremediation> (Consultada el día 15 de Febrero de 2008).
- EPA, 2001. (en línea) Introduction to phytoremediation. National Risk Management Research Laboratory. <http://www.aehs.com/journals/phytoremediation>. (Consultada el día 15 de Enero de 2008).

EPA 2001 (en línea). "United States Office of Solid Waste and EPA 542-F-01-002S." Environmental Protection Emergency Response. www.epa.gov/superfund/sites.cluin.org.

EPA 2002 (en línea). "United States Office of Solid Waste EPA 542-F-01-002S." www.epa.gov/superfund/sites.cluin.org. (Consultada el día 12 de Enero de 2008).

Ernst, W. H. O. 1996. "Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants." *Appl. Geochem.* Vol 8 . Pág. 239-256.

Estévez S. J., Andrade M. L., Marcet P., Montero V. M. J., Vázquez A. J. J. Adsorción de Zn y Cd en diferentes suelos. *Dep. Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Univ.de Vigo. Ap. 874. 36200 Vigo. España. Pág. 123-128.*

Eweis, J. B., D.P. Chahg., I.D Scow, Moerth y R. Caballero 1998. Meting the challenge of MBE diodegration, proceedings on the 90 th Annual meting and exhibition, Air and was Management Association. Toronto Canadá.

Fernández J. C. 1991. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *Vol.57.Pág. 246-273.*

Fernández M.2003. Los limites de consumo para el cadmio.consumaseguridad.com.consumer.es Pág. 1-3.

García, I. y C. Dorronsoro C. 2005. Contaminación por metales pesados. En: *Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Pág. 74-78.*

- Galli, C. 2002. "Degradación por medios bacterianos de compuestos químicos tóxicos." Comisión Técnica Asesora en: Ambiente y desarrollo sostenible, Buenos Aires, Argentina. Pág. 82-87.
- Gonzalez, M. S. 2000. Contaminación de Suelos: Los Metales Pesados. Boletín de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Vol. 14. Pág. 42-59.
- Gulson, B.L., K. Mizon J.,M. Korsch J. & Howarth D. 1996. Non-orebody sources are significant contributors to blood lead of some children with low to moderate lead exposure in a mayor mining community. The science of the total environment. Vol.181. Pág. 223-230.
- Huang, C.P. 1999. Enviromental soil chemistry and human welfare. 14° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Temuco. Chile.Pág. 321-326.
- Ibidem. 1997. Erca, S.A de C.V México. Pág. 65-69.
- INEGI 1999. (En línea). Ubicación geográfica de Torreón Coahuila.
<http://mapserver.inegi.gob.mx>. (Consultada el día 22 de Enero del 2008).
- Infoagro. 2008. (en línea) el cultivo del geranio.
<http://www.infoagro.com/flores/flores/geranio.htm> (Consultada el día 18 de Enero del 2008).
- INEEL 2000. (en línea). Proceedings from the Workshop on Phytoremediaton of Inorganic Contaminants. November 30 – December 2, 1999, Argonne National Laboratory, Chicago, IL. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, U,S. Department of Energy. INEEL/EXT-2000-00207. available at.

ITRC. 1999.(en línea). "Phytoremediation decision tree. The interstate Technology an Regulatory Cooperation Work Group, phytoremediation work team." [Http://www.cluin.org/search](http://www.cluin.org/search) y [http:// www. itrcweb. org](http://www.itrcweb.org).

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

Kabata-Pendias A. & Pendias H. 2001. Trace elements in soils and plants CRC. Press, Florida.Pág. 122-126.

Labunska I., Santillo, D., Johnston P. , Stringer R. P. & Stepheson, A. (2000). Heavy metals and organic contaminants in the vicinity of the Teshima Island illegal dumpsite, Kagawa Prefecture, Japan. Greenpeace Research Laboratories, Technical Note 02/00.

Lenntech (2008). Agua residual & purificación del aire Holding B.V. <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/Cd.htm>. (Consultada el día 05 de Febrero de 2008).

Lobo, M. D. C. D. 2005. (en línea). "Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria.://www.medioambiente.info/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid..

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

Lumellí, M. 2006 (en línea). "Medio Ambiente. Fitorremediación: Otro regalo del reino vegetal."<http://www.estroplan.com.mx/articulos/verarticulo.asp?>.

- Marivela, C., C. Guerrero, L., López, V. Sánchez y A. Toledo. 2002. "Metales pesados y medio ambiente." Grupo de seminario 1-26, Barcelona, España.
- Maqueda, A. 2003 (En línea). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados
http://Catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mbt/maqueda_g_ap/capitulo4.pdf.
- Núñez L., B. Meas., B. Ortega, y J. Olguin 2004. Fitorremediación fundamentos y aplicaciones. Ciencia. Pág. 69-82.
- OECD Proceedings b (1996). *Fertilizers as a source of cadmium*. Organisation for economic co-operation and development.
- Ramos, B. R., L. J. Cajuste, R D Flores, N E. García C. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. Artículo en Agrociencia 35: Pág. 385-395.
- Reiser, R. 1998. "The Use of Phytoremediation in the Cleanup Polluted Soils and Waters." International Phytoremediation Conference. May 8-10 1998.
- Sample, K. T., B. J. Reid, y T.R. Fermor. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutions. Environ. Pollution. Pág. 316-318.
- Saval, S. 1998. "Biorremediación de suelos y acuíferos. Situación actual y perspectivas en México." Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. Vol 3. Pág. 126-130.

Silvio, L. R. y D. I. Orroño. 2007. Efecto simultáneo de seis elementos potencialmente tóxicos sobre tres especies del género *Pelargonium*. Fac. de Agronomía. Universidad de Buenos Aires Argentina. Memoria del XVII Congreso de la Ciencia del Suelo. León Guanajuato.

Valdez F. y V. M. Cabrera V. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón Coahuila, México.

<http://www.texascenter.org/publications/Torreon.pdf> .

Van Deuren, J., Z. Wang, y J. Ledbetter 1997. "Remediation technologies screening matrix and reference Guide." Technology innovation office. 3.

<Http://www.epa.gob/tio/remed.htm>.