

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS**



**CONTAMINACIÓN POR PLOMO EN SUELOS DE TORREÓN
COAH., DAÑOS A LA SALUD Y MÉTODOS DE ELIMINACIÓN.**

POR:

MARIA EUGENIA ZAVALA MARTINEZ.

MONOGRAFIA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER

EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAH, MÉXICO.

SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

MONOGRAFÍA ELABORADA POR C. MARÍA EUGENIA ZAVALA MARTÍNEZ,
BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

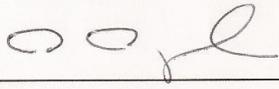
APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



ING. RUBÍ MUÑOZ SOTO

CO ASESOR:



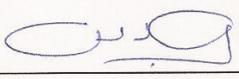
DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

CO ASESOR:



MC. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

CO ASESOR:

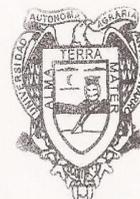


MC. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS.

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agrónomicas

TORREÓN, COAHUILA.

SEPTIEMBRE DE 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

MONOGRAFÍA DEL C. MARÍA EUGENIA ZAVALA MARTÍNEZ,
QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

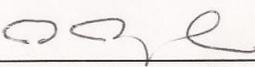
COMITÉ EXAMINADOR:

PRESIDENTE:



ING. RUBÍ MUÑOZ SOTO

VOCAL:



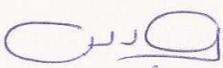
DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:

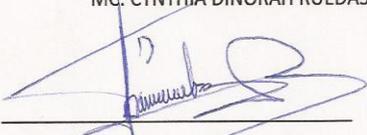


MC. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

VOCAL SUPLENTE:



MC. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS.

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agrónomicas

TORREÓN, COAHUILA.

SEPTIEMBRE DE 2012.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	I
RESUMEN.....	II
OBJETIVO.....	III
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 2 ANTECEDENTES.....	4
Definición general del “suelo”	6
La contaminación.....	6
CAPITULO 3 METALES PESADOS EN EL AMBIENTE	7
Efectos de los metales pesados en el suelo	9
Movilización de metales pesados en el suelo.....	11
Efectos ambientales del plomo	12
CAPITULO 4 CAUSAS DEL PLOMO EN LA SALUD.....	15
Plomo en el medio ambiente que poco a poco va dañando a la población.....	16
La situación en Torreón.....	19
Síntomas que se manifiestan en etapas tempranas del envenenamiento	22

Síntomas que se manifiestan en etapas más adelantadas.....	22
Efectos del plomo en la salud de adultos.....	23
CAPITULO 5 MÉTODOS PARA LA ELIMINACIÓN DEL PLOMO.....	25
Fitorremediación.....	25
Fitoextracción.....	27
Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.....	28
Investigación sobre la fitorremediación.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	30

AGRADECIMIENTOS

A DIOS POR HABERME DADO LA VIDA Y PERMITIRME TERMINAR SATISFACTORIAMENTE MI CARRERA.

A TODA MI FAMILIA, EN PARTICULAR A MIS PADRES FRANCISCO ZAVALA Y MARGARITA MARTINEZ POR CREER EN MÍ, Y DEMOSTRARLES QUE SU APOYO NO FUE EN VANO, GRACIAS POR TODO.

A MI ESPOSO JULIO CESAR ZACARÍAS, Y A MIS HIJOS JOSE FRANCISCO Y JULIO CÉSAR, YA QUE SON EL MOTOR DE MI VIDA, POR ELLOS ES Y SERA MI LUCHA SIEMPRE LOS AMO.

A MI TIA MARÍA DEL ROSARIO MARTÍNEZ Y A MI ABUELITA EMMA GARCÍA POR SU GRANDE APOYO.

A MIS HERMANAS MARGARITA Y MARÍA DEL CARMEN QUE SIEMPRE ESTUBIERON CUANDO MAS LAS NECESITE.

A MI “ALMA TERRA MATER” POR BRINDARME A LOS MEJORES MAESTROS QUE ME HAN DEJADO UNA ENSEÑANZA MUY IMPORTANTE.

AMI ASESORA RUBÍ MUÑOZ SOTO, POR EL APOYO RECIBIDO Y CONOCIMIENTOS COMPARTIDOS.

RESUMEN

La contaminación es un problema del que nadie quiere responsabilizarse y que, hasta en algunos casos, no se percibe hasta cuando es ya demasiado tarde. Debemos, como ciudadanos de un país que quiere crecer y mejorar su calidad de vida, comenzar a tomar conciencia sobre éste problema y todas las dificultades que encamina para el ambiente y, por ende, para la salud y bienestar humano.

La educación de la población es una herramienta básica y fundamental en cuanto a medio ambiente se refiere. Este medio es el único lugar del que cuenta el hombre para desarrollarse. En él realiza todas sus actividades donde nosotros hemos logrado tener un suelo contaminado, no solo el suelo sino todo nuestro mundo, ya que nos encargamos de destruirlo y no de cuidarlo, o tratar de mejorarlo.

Una población conocedora de los problemas de contaminación de los metales pesados (**PLOMO**) en el suelo, no necesariamente en ese tema, sino también en contaminación en general y de aquellos que presentes en su territorio, será una población con capacidades potenciales de resolución de tales conflictos. Una sociedad consciente es, entonces, la primera etapa para la recuperación ambiental y la posterior administración eficiente de los recursos naturales disponibles.

PALABRAS CLAVES: Contaminación, salud, suelo, metales pesados, plomo.

OBJETIVO

Causas, enfermedades que produce el plomo; en la ciudad de torreón coah., tanto en suelo como en la sociedad y métodos de eliminación.

Capítulo 1: Introducción

El desarrollo de actividades industriales, ha contribuido cada vez más a la generación de residuos con elementos potencialmente tóxicos que en concentraciones altas pueden tener efectos nocivos a la salud de la población y afectaciones al equilibrio ecológico y el ambiente. Uno de los problemas más señalados por la sociedad a nivel mundial que ocupa un lugar prominente, es la progresiva degradación de los recursos naturales causada por la gran diversidad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, tanto en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades naturales y antropogénicas generando un irremediable deterioro en el ambiente.

Actualmente existen estudios tendientes a resolver la contaminación originada por metales pesados en suelos, mediante estrategias basadas en el uso de plantas que tienen la propiedad de acumular metales pesados; proceso denominado “fitorremediación” que consiste en la remoción, transferencia, estabilización y/o degradación y neutralización de compuestos orgánicos, inorgánicos y radioactivos que resultan tóxicos en suelos y agua.

Esta novedosa tecnología tiene como objetivo degradar y/o asimilar, los metales pesados, presentes en el suelo, lo cual tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados; en primer lugar es una tecnología económica, de bajo costo, en segundo lugar posee un impacto regenerativo en lugares en donde se aplica y en tercer lugar su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal (Harvey *et al.*, 2002).

La fitorremediación no es un remedio para todos los suelos contaminados, antes de que esta tecnología pueda volverse técnicamente eficiente y económicamente viable, hay algunas limitaciones que necesitan ser superadas como por ejemplo, sus mecanismos tanto moleculares, bioquímicos y fisiológicos los cuales son pocos conocidos e insuficientemente entendidos, sin embargo, a pesar de esto un gran número de plantas hiperacumuladoras todavía pueden descubrirse e identificarse (Freitas *et al.*, 2004).

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.

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 en torno 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.

El problema de Torreón se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora de plomo más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la ciudad. En otros lugares del país se presenta la contaminación por plomo, pero las fuentes son distintas, como en el caso que afecta a los vecinos de la empresa Pigmentos y Oxidos, S.A, en Monterrey, y la reciente denuncia de la presencia de plomo en el agua de Salamanca, Guanajuato.

Capítulo 2: Antecedente

A través de la historia y especialmente desde la Revolución Industrial, los hombres han producido contaminantes muy peligrosos, los cuales han sido gradualmente depositados en el ambiente. (Granadillo, 1993), expresó que los altos niveles de metales tóxicos no biodegradables, encontrados en sectores urbanos, son el resultado de una actividad antropogénica indiscriminada.

En la Antigüedad, el plomo era común y probablemente fue usado primero con propósitos cosméticos y para hacer adornos (Aitcheson, 1960).

La toxicidad del plomo fue conocida por los antiguos egipcios quienes lo usaron como veneno con propósitos homicidas. No solamente los romanos y egipcios usaron el plomo sino que también lo hicieron los antiguos griegos. Geólogos franceses han descubierto que la nieve que cayó durante el tiempo de la dominación griega, contenía una inesperada alta concentración de plomo.

El monto de plomo precipitado de la atmósfera entre el año 500 A.C. y el 300 D.C. representó un 15% de la contaminación causada en este siglo por la gasolina. Hay evidencias de su uso en China y en México pre-colombino. (Emsley, 1994).

En Tiempos más Recientes, el desarrollo de procesos industriales usando plomo ha sido extraordinario y, a pesar de las evidencias de envenenamientos, todavía está siendo usado en el ámbito mundial. El uso del plomo se ha incrementado considerablemente en este siglo y continúa haciéndolo. Es importante valorar el efecto que esta desproporcionada movilización del metal está teniendo en sus niveles ambientales.

A pesar de las medidas tomadas para evitar o controlar la polución con plomo, los seres humanos siempre han estado expuestos al plomo, pero los records de envenenamiento se han incrementado sustancialmente en décadas recientes como un producto de la industrialización.

En consecuencia, hay la necesidad de reducir significativamente el contaminante del ambiente y controlar la exposición de los seres humanos a su toxicidad.

La contaminación del ambiente es perversa en las sociedades industrializadas
(Aranguren, 1999).

Definición general de "suelo"

Se define el suelo, desde el punto de vista medioambiental, como la fina capa superior de la corteza terrestre (litosfera), situada entre el lecho rocoso y la superficie. Está compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos.

El suelo es uno de los componentes fundamentales del medio ya que constituye la parte de la superficie terrestre sobre la que se asienta la vida vegetal y sobre la cual se implanta la mayor parte de las actividades humanas, siendo, además, la interfaz entre la tierra, el aire y el agua lo que lo confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso.

La contaminación

La contaminación, desde un punto de vista medioambiental, es la alteración de las características físicas, químicas o biológicas de los factores medioambientales en grado tal que supongan un riesgo inaceptable para la salud humana o los ecosistemas.

Capítulo 3: Metales pesados en el ambiente.

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la

cantidad de metales disponibles en el suelo esta en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauve *et al.*, 2000). Además son definidos como elementos con propiedades metálicas (conductibilidad, ductilidad, etc.), número atómico mayor de 20, y cuya densidad es mayor a los 5 g cm³. Se consideran metales pesados el plomo cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre, plata y arsénico, constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, tales como humanos, organismos del suelo, plantas y animales (Spain *et al.*, 2003).

Estos contaminantes pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrimentos, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo, y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo (Zhang *et al.*, 2000).

Las principales fuentes de metales pesados son actividades naturales, como desgastes de cerros, volcanes, que constituyen una fuente relevante de los metales pesados en el suelo, así como también actividades antropogénicas como la industria minera que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados.

En el suelo, los metales pesados, están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos, (Pineda, 2004).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos; oligoelementos o micronutrientes: son los requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por plantas y animales y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos.

Como el As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva apareja disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, el Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl (García y Dorronsoro, 2005).

Efecto de los metales pesados en el suelo

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Martín, 2000).

Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos.

La contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de presas de jales (Wang *et al.*, 1992).

El pH es un factor esencial, para que la mayoría de los metales tiendan a estar más disponibles en un pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino es una variable importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos.

En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos (Alloway, 1995).

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cu, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente.

La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Pineda, 2004).

Movilización de metales pesados en el suelo

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo, éstos pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004).

Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han *et al.*, 2003).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Burt *et al.*, 2003).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son:

Características del suelo:

pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura; naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición y condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad (Sauquillo *et al.*, 2003).

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos; pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasan a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

Para elucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales se requiere la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos (Banat *et al.*, 2005).

La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino *et al.*, 2002).

Efectos ambientales del plomo

El Plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas.

Debido a la aplicación del plomo en gasolinas un ciclo no natural del Plomo tiene lugar. En los motores de los coches el Plomo es quemado, eso genera sales de Plomo (cloruros, bromuros, óxidos) se originarán.

Estas sales de Plomo entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los coches. Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este Plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. Este ciclo del Plomo causado por la producción humana está mucho más extendido que el ciclo natural del plomo.

Este ha causado contaminación por Plomo haciéndolo en un tema mundial no sólo la gasolina con Plomo causa concentración de Plomo en el ambiente. Otras actividades humanas, como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también contribuyen.

El Plomo puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías de Plomo en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen Plomo. No puede ser roto, pero puede convertirse en otros compuestos.

El Plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por Plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos puede tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de Plomo presente.

Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbados cuando interfiere con el Plomo. El fitoplancton es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales marinos lo comen.

Este es el porqué nosotros ahora empezamos a preguntarnos si la contaminación por Plomo puede influir en los balances globales.

Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del Plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presente. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por Plomo.

El Plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

Capítulo 4: Causas del plomo en la salud

El plomo es un elemento que no cumple ninguna función vital en el organismo

humano y que resulta tóxico incluso en pequeñas dosis. Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos.

Los efectos del plomo en la salud de los niños pueden incluir problemas de comportamiento y de aprendizaje (hiperactividad), crecimiento atrasado, problemas auditivos, dolores de cabeza y daño al cerebro y al sistema nervioso central.

Los adultos expuestos al plomo pueden sufrir de problemas reproductivos, presión sanguínea alta, trastornos digestivos, dolor en los músculos y en las coyunturas, problemas de memoria y de concentración y trastornos nerviosos (Matte, 2003).

El plomo se fija a las enzimas y altera la estructura y función de muchas proteínas, interfiriendo así con la acción y la finalidad de muchos tipos diferentes de células del cuerpo.

Estos cambios pueden ocasionar daños permanentes a los órganos en crecimiento y en desarrollo, en especial al sistema neurológico de los niños, y es muy difícil revertir los efectos. Penetra en el cuerpo no sólo por vía oral, sino también por las vías respiratorias.

Los niños que viven cerca de una fundición de plomo o una planta manufacturera de baterías para vehículos corren el gran riesgo de quedar expuestos a la toxicidad de ese elemento (Buka, 2001).

Plomo en el medio ambiente que poco a poco va dañando a la población

Desde hace algunas décadas la importancia del plomo como contaminante ecotoxicológico ha sido bien conocida. Así, el impacto de los metales pesados de origen antropogénico en el medio ambiente, ha sido objeto de estudio en varias investigaciones. El plomo (Pb) se considera un contaminante ecotoxicológico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición en humanos. La principal vía de biodisponibilidad son el suelo y el polvo, donde se concentra y por medio del cual ingresa a los organismos. El manejo inadecuado de materiales con plomo ha sido causante de numerosos problemas ambientales en todo el mundo; sin embargo, no todo el plomo del suelo presenta el mismo grado de movilidad o biodisponibilidad. La distribución química del plomo en el suelo depende del pH, de la mineralogía, textura, materia orgánica así como de la naturaleza de los compuestos de plomo contaminantes. El suelo es uno de los mayores reservorios en los cuales se acumula la contaminación ambiental (Alloway, 1995).

Más del 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 contaminado con Pb es de preocupación ya que éste presentan un alto tiempo de residencia en el suelo, estableciéndose un equilibrio dinámico con la hidrosfera, atmósfera y biosfera y de esta forma alterando el ecosistema, incluyendo al ser humano (Huang, 1999).

En virtud de que los elementos contaminantes pueden estar presentes en el suelo de manera natural y en ocasiones en concentraciones tales que pueden representar un riesgo para la salud de la población humana o de los ecosistemas, es importante establecer criterios para determinar la contaminación antropogénica en suelos y en su caso las concentraciones de remediación. Existen límites máximos permisibles para suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Cuando al menos una de las concentraciones de estos elementos se encuentre por arriba de los límites máximos permitidos es necesario implementar acciones de remediación

El plomo es muy tóxico para los seres vivos. Afecta a los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal, además de afectar la piel y los riñones. No es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua, en los hogares y en los expuestos a él.

La exposición al plomo, aun a niveles bajos, afecta a niños y a adultos. En cantidades muy pequeñas, interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos, causa convulsiones, colapso e incluso la muerte.

La exposición a cantidades muy pequeñas puede causar a largo plazo daños medibles e irreversibles en niños aun cuando éstos no muestren síntomas particulares.

El límite máximo permisible de plomo en la sangre de un niño, según la Norma Oficial Mexicana de Emergencia de junio de 1999, es de 10 µg/dL; sin embargo, este nivel no es seguro ni normal, ni deseable, pues aún no se ha identificado el umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo.

La Academia Americana de Pediatría ubica el nivel deseable de plomo en la sangre de los niños en cero.

En los adultos, un nivel bajo de plomo causa incrementos pequeños, pero significativos, en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto.

La hipertensión causada por la exposición al plomo contribuye a la muerte de miles de personas cada año. También afecta la fertilidad. Se cree que el uso generalizado que se daba al plomo en la antigua Roma tuvo que ver con la decadencia de su civilización.

Los romanos usaban incluso el acetato de plomo como edulcorante del vino, agudizando la intoxicación de quien lo bebía.

La situación en torreón

En 1962, investigadores de la Secretaría de Salud documentaron un caso de arsenicismo agudo en Torreón atribuido a Peñoles. Este episodio, que causó la muerte de un adulto, fue documentado en la *Revista Salud Pública de México* en 1964. El doctor Víctor Calderón-Salinas ha realizado diversos estudios en la zona a partir de 1986, incluyendo su tesis de licenciatura. Estos reportes provocaron denuncias de ciudadanos y de organizaciones ambientalistas sin que se les prestara atención oficial.

En 1999 se publicó un estudio de Benin y sus colaboradores, de la Escuela de Medicina de Dartmouth, quienes concluyeron que en Torreón hay plomo y arsénico en niveles similares a los de otros sitios contaminados del mundo y superiores a lo que establece la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (epa) para considerarlos seguros. Sin embargo, encontraron que el cadmio está presente en Torreón con los niveles más elevados jamás reportados por la literatura científica.

A pesar de las evidencias científicas y de las denuncias que han suscitado, ha habido una inercia oficial a favor de Peñoles que provocó que el problema no se atendiera a tiempo, provocando daños en miles de niños. La empresa ha sostenido a lo largo de los años que cumple con la ley, sin precisar que la legislación ambiental mexicana es laxa y que una gran cantidad de normas oficiales dejan mucho que desear.

En 1998, un pediatra local, el doctor José Manuel Velasco, empezó a ordenar análisis de plomo a sus pacientes. Lo que encontró fue alarmante: de 51 niños estudiados, 24 tenían niveles de plomo en sangre mayores a 10 µg/dL. Al poner en un mapa los resultados de los análisis y los domicilios de los pequeños, se vio que el nivel de plomo aumentaba conforme el niño vivía más cerca de la fundidora. Estos resultados se comunicaron a la Secretaría de Salud de Coahuila, sin que esta dependencia hiciera nada.

El mismo año, el doctor Gonzalo García Vargas, toxicólogo de la Universidad Juárez de Durango, en la vecina Gómez Palacio, publicó un estudio que reportaba niveles de plomo en sangre de tres grupos de niños. Estos niveles subían a medida que la escuela donde acudían estaba más cercana a la planta de Peñoles. Los niveles de plomo en aire también aumentaron en el mismo sentido. El plomo en el agua resultó bajo en los tres casos.

Una persona puede respirar el plomo por medio del polvo o humo producidos por ciertos trabajos o la combustión de la gasolina de los automóviles, o por comer, beber o fumar cerca de zonas con plomo.

El plomo también puede ingerirse al tocar objetos que han sido contaminados con polvo de plomo. Se sabe que muchas personas están siendo envenenadas lentamente porque sus cuerpos han absorbido demasiado plomo (ver más adelante ejemplo de Arica). Aunque al principio, el envenenamiento por plomo pueda no presentar síntomas, con el tiempo éste puede causar daños en el cerebro, la sangre, el sistema nervioso, los riñones y el sistema reproductivo.

Estos daños pueden manifestarse y causar serios problemas como pérdida de memoria, cansancio o fatiga, problemas emocionales, falla en los riñones, coma o la muerte.

Los niños pequeños son más susceptibles a ser afectados por el plomo. Las personas expuestas al plomo pueden contaminarlos cuando llevan polvo de plomo a la casa, por medio de sus ropas contaminadas.

El envenenamiento por plomo ocurre cuando la persona ha sido expuesta a grandes o pequeñas cantidades de plomo por algún tiempo. El plomo se va acumulando en nuestro cuerpo causando así daños temporales o permanentes. A través de un examen de plomo en la sangre se puede saber si el cuerpo lo ha absorbido en cantidades peligrosas. Un nivel alto de plomo en la sangre indica que nuestro organismo lo está absorbiendo en mayor cantidad de la que puede eliminarlo.

Hay muchas manifestaciones o síntomas que pueden indicar si se tiene problemas debido al plomo. Sin embargo, estos síntomas pueden provenir de otras enfermedades. También hay casos cuyo envenenamiento por plomo puede no causar síntomas. Por lo cual debe visitar a su doctor periódicamente, se esté o no sintiendo los siguientes síntomas:

Síntomas que se manifiestan en etapas tempranas del envenenamiento:

Dolores de Cabeza

Fatiga

Malestares estomacales

Insomnio

Irritabilidad o nerviosismo

Sabor metálico

Pérdida o falta de apetito

Problemas en sistema reproductivo

Síntomas que se manifiestan en etapas más adelantadas:

Dolores de estómago

Problemas con la memoria

Problemas en los riñones

Náusea

Pérdida de peso

Estreñimiento

Dolores musculares y en las coyunturas

Debilidad en las muñecas o en los tobillos

Efectos del plomo en la salud de adultos

El organismo de cada individuo expuesto al plomo responde de diferente manera a éste. Esta tabla indica el nivel de plomo al cual el individuo puede sentir varios efectos o síntomas causados por envenenamiento por plomo. Por lo general, los efectos que tiene el plomo en la salud de los niños son mucho más severos.

Cuadro 1. Niveles de plomo en la sangre

Efectos	Nivel del plomo en la sangre (mcg/dl) (microgramos por decilitros)
Daños severos al cerebro (encefalopatía)	100
Dolores de cabeza, problemas de concentración y de memoria, dificultades con el sueño, cambios de carácter repentinos	60 – 70
Anemia	60
Dolor de estómago, estreñimiento, diarrea, falta o pérdida de apetito	50 – 70
Problemas en el sistema nervioso; reducción de glóbulos rojos	50
Problemas en el sistema reproductivo en los	40

hombres; daños en el riñón	
Los reflejos se vuelven lentos	30
Efectos dañinos al feto; presión arterial alta	10 – 15

Hay casos cuyo envenenamiento es tan severo que pueden resultar en convulsiones, coma o muerte.

También es muy importante enfatizar en que existen casos en los cuales el plomo daña nuestro organismo aún cuando no hay síntomas presentes.

Capítulo 5: Métodos para la eliminación.

Fitorremediación

El concepto de usar plantas para limpiar suelos contaminados no es nuevo, desde hace 300 años las plantas fueron propuestas para el uso en el tratamiento de aguas residuales. En Rusia en los años sesentas se realizaron investigaciones utilizando plantas para recuperar suelos contaminados con radionucleótidos. Existen reportes sobre el empleo de plantas acuáticas en aguas contaminadas con plomo, cobre, cadmio, hierro y mercurio. La remediación de la acumulación de metales pesados en suelos utilizando plantas es también ampliamente reconocida (Ernst, 2000).

La fitorremediación es el uso de plantas para recuperar suelos contaminados, es una tecnología *in situ* no destructiva y de bajo costo y está basada en la estimulación de microorganismos degradadores. (Merkl *et al.*, 2004). Consiste en el uso de plantas, sus microorganismos o enzimas asociadas, así como de la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar al contaminante. Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación, la fitorremediación ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable, útil para remediar simultáneamente una gran variedad de contaminantes (Frick *et al.*, 1999).

En estudios recientes se ha demostrado que la fitorremediación es una solución prometedora para la limpieza de sitios contaminados por una variedad de metales, aunque también tiene una serie de limitaciones (Singh *et al.* 2003), además, es un proceso de descontaminación que involucra el empleo de plantas que pueden remover, transferir, estabilizar, descomponer y/o degradar contaminantes de suelo, sedimentos y agua, como solventes, plaguicidas, hidrocarburos poliaromáticos, metales pesados, explosivos, elementos radiactivos, fertilizantes, para hacerlos más biodisponibles para la planta (McGrath *et al.*, 2001).

La fitorremediación aplicada a suelos contaminados con elementos o compuestos inorgánicos, incluye, básicamente, tres mecanismos: la fitoextracción o fitoacumulación, la fitoestabilización y la fitovolatilización disposición de residuos regeneración de componentes naturales del suelo

Fitoextracción

La fitoextracción debe considerarse como una tecnología de largo plazo, que puede requerir de varios ciclos de cultivo para reducir la concentración de los contaminantes a niveles aceptables. El tiempo requerido depende de la concentración y tipo de contaminante(s), de la duración del periodo de crecimiento y de la eficiencia de remoción de la especie utilizada y puede tomar entre uno y 20 años (Prasad y Freitas, 2003).

Esta técnica se encuentra todavía en su etapa inicial de investigación y de desarrollo, el número de pruebas de campo realizadas hasta la fecha es no obstante pequeña (Brown *et al.*, 2003), y está surgiendo como un método de rehabilitación atractivo debido a su simplicidad además su costo es relativamente bajo.

Entre las metodologías de limpieza para suelos contaminados por metales pesados, la técnica de fitoextracción a través de los tejidos de las plantas, presenta ventajas ecológicas y económicas. Esta opción de limpieza depende principalmente, de las condiciones del suelo y de la planta acumuladora (Pulfort y Watson, 1993). Para mejorar el proceso de fito-extracción, la biodisponibilidad del contaminante hacia las raíces puede facilitarse a través de la adición de agentes acidificantes, de fertilizantes o quelantes (Prasad y Freitas, 2003).

Plantas hiperacumuladoras de metales pesados

Todas las plantas poseen un potencial para absorber una amplia variedad de metales del suelo pero la mayor parte de las plantas tienden solamente a absorber los que son esenciales para su supervivencia y desarrollo. Existe una notable excepción de esta regla de un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar altos niveles de ciertos metales, estas plantas reciben el nombre de hiperacumuladoras (Chen *et al.*, 2001).

Una definición propone que si una planta contiene más de 0.1% de Ni, Co, Cu, Cr y Pb o 1% del Zn en sus hojas sobre una base del peso seco, ésta puede ser llamada una “hiperacumuladora”, independientemente de la concentración del metal en el suelo (Robinson *et al.*, 2003).

Las primeras plantas hiperacumuladoras caracterizadas son miembros de las familias *Brassicaceae* y *Fabaceae*. El gran interés despertado por las plantas hiperacumuladoras, especialmente para destoxificar un ambiente contaminado, obliga también a resolver otros problemas relativos a otras disciplinas, hace hincapié en ello y destaca que, cuando se intensifique la investigación conjunta de diversos campos como botánica, fisiología vegetal, agronomía, química y genética, probablemente se inicie un brillante futuro para la fitorremediación. El entorno de las plantas hiperacumuladoras revela la necesidad de impulsar mayores conocimientos multidisciplinarios que aumenten la rentabilidad y eficacia de dichas plantas: sus aplicaciones son interesantes en muchas áreas, y particularmente importantes en la protección del ambiente (Lasat, 2002).

Investigaciones sobre la fitorremediación

Los pastos son el género más adecuado para la fitorremediación de formas orgánicas e inorgánicas de metales, por su hábitat de crecimiento y adaptabilidad a una variedad de condiciones edáficas y climáticas (Singh *et al.* 2003). En las *Asteraceae* se ha reportado por ejemplo tolerancia al plomo en *Sonchus oleraceus* y se le ha propuesto como especie fitoremediadora de ambientes contaminados con este metal (Xiong, 1997).

La especie *Thlaspi caurulencens* en suelos contaminados con zinc y cadmio. Logra eliminar más de 8 mg/Kg de cadmio y 200 mg/Kg de zinc, representado estos valores el 43 y 7 % de estos metales en un suelo agrícola, respectivamente (Lombi *et al.*, 2001).

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es la especie que absorbe los metales pesados en mayor cantidad acumulándose más en sus raíces que en sus brotes si se cosecha la biomasa entera de la planta, por lo que se considera una planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de Cd, Zn, Pb y elementos radiactivos (Christie *et al.*, 2004).

BIBLIOGRAFÍA

Abollino, O., M. Aceto., M. Malandrino., E. Mentaste., C. Sarzanini y R. Barberis. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution, 119, p. 177.

Aitcheson, L. 1960. A History of Metals. London: Mac Donalds and Evans.

Alloway, B.J., 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional.
Londres. 370 pp.

Aranguren F. 1999. El Plomo En El Medio Geográfico: Una Amenaza Saliente. Pag. 121-155 geoenseñanza Vol. 4 ISSN 1316-6077.

Banat, K. M., F. Howari,. y A, A. Al-Hamad,. 2005. Heavy Metals in Urban Soils of Central Jordan: Should we Worry about Their Environmental Risks.
Environmental Research, 97, pp. 258-273.

Bratos J, G. Sicilia,. A. Remasal,. 1986. Análisis De Suelos Curso Para el S.P.Y D.A de Burgos. Unión Explosivos Río Tinto S.A.

Brown, S. L., R. L. Chaney,. J. G. Hallfrisch,. y Qi Xue. 2003. Effect of Biosolids Processing On Lead Bioavailability in an Urban Soil. Environ Qual 32, 100- 108.

Buka I. 2001. Plomo y Salud Infantil. Boletín de la Comisión para la Cooperación Ambiental de America Del Norte.

Burt, R., M.A. Wilson, T.J. Keck, B.D. Dougherty, D.E. Strom, J.A. Lindahl, 2003. Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. *Advances in Environmental Research*, 8, pp. 51-67.

Cervantes R. J. 2000. Dado en Palacio Legislativo de San Lázaro México DF.

Cepeda D. J. M. 1991. Química de Suelos. Editorial Trillas, S.A. de C.V. México DF. Segunda Edición . pp 142-149.

Costa J. L, P. Lodz. 1999. Aplicación de Yeso a un Natracuol del Sudeste de la Pampa Deprimida INTA-Balcarce, Argentina.

Chen, B., P. Christie, y L. Li, 2001. A Modified Glass Bead Compartment Cultivation System for Studies on Nutrient and Trace Metal Uptake by Arbuscular Mycorrhiza. *Chemosphere* 42, 185-192.

Chhabra, R. 1996. Soil Salinity and Water Quality. Rotterdam, A.A. Balkema Publishers,. 283p.

Christie, P., X. Li,. B. Chen,. 2004. Arbuscular Mycohrriza can Depress Translocation of Zinc To Shoots of Host Plants in Soils Moderately Polluted with Zinc. *Plant and Soil*, 261 (1-2), 209-217.

Churchman, G.J., J. O. Skjemstad,. Y J.M. 1993. Influence of Clay Minerals and Organic Matter on Effects of Sodicity on Soils. *Australian Journal of Soil Research*. 31:779-800

Emsley, J. 1994. Ancient World was Poisoned by Lead. En: *New Scientist*, 143: 14.

Ernst, W. H. O. 2000. Evolution of Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation. *New Phytol* 146, 357-357.

Freitas, H., M. N. V. Prasad,. y J. Pratas,. 2004. Heavy Metals in the Plant Community of Sao Domingo an Abandoned Mine in SE Portugal: Possible Applications in Mine Remediation. *Environmental International*, 30 (1), 65-72.

Frick, C. M., R. E. Farrell,. y J. J. Germida,. 1999. Assessment of Phytoremediation as an in situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites. *Petroleum Technology Alliance of Canada*. Vancouver, British Columbia.

García, I., C. Dorronsoro,. 2005. 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>

García A. 2003. Curso de Salinidad de Suelos disponible en: <http://www.gratisweb.com/ocaclevante/calidadagua.pdf>

Granadillo, V. 1993. Concentraciones de Plomo en Sangre de la Población de la Ciudad de Maracaibo. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela, p.1- 110.

Gouia, H., M.H. Ghorbal,. y C.B. Touraine,. 1994. Effects of NaCl on Flows of and Mineral Ions and NO₃- Reductasa Rate Within Whole Plants of Saltsensitive Bean and Tolerant Cotton. Plant Physiol. 105:1409-1418.

Guitart R. y G. Vernon,. 2005. Revista Española de Salud Pública V.79 No.6 Madrid Nov.- ISSN 1135-5727.

Gupta, R.K.; I.P. Abrol,. 1990. Salt Affected Soils: Their Reclamation and Management for crop Production. Advances of Soil Science. V.11, p.223-228.

Han, F.X., A. Banin,. W.L. Kingery,. G. B. Triplett,. L. X. Zhou,. S. J. Zheng,. W. X. Ding,. 2003. New Approach to Studies of Heavy Metal Redistribution in Soil. Advances in Environmental Research, 8, pp. 113-120.

Lasat, M. M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. Journal of Environmental Quality. 31(1): 109-120.

Martin, C.W. 2000. Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. *Catena* 39, 53-68.

Matte T. D. 2003. Efectos del Plomo en la Salud de la Niñez. Vol. 45 ISSN: 00363634 Pág. 220-224.

Matson, A.P., W. J. Parton,. A. G. Power,. Y M. J. Swift,. 1997. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science*. 257:504-508

McKenzie, B.D., y Y. A. Leshen,. 1994. Stress And Stress Coping In Cultivated Plants. 256 p. Kluwer Academic Publisher, London, UK.

McGrath, S. P, E. Lombi,. F. J. Zhao,. Y S. J. Dunham,. 2001. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation Versus Chemically Enhanced Phytoextraction. *Journal of Environmental Quality* 30 (6): 1919-1926.

Merkl, N. R, Schultze-Kraft y C. Infante. 2004. Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils in the Tropics - Pre-Selection of Plant Species from Eastern Venezuela. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 78 (3):185-192.

Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que Establece Criterios para Determinar las Concentraciones de Remediación de Suelos Contaminados por Arsénico, Berilio, Cadmio, Cromo Hexavalente, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio,

Talio y Vanadio, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de Noviembre de 2005.

Pagnanelli, F., E. Moscardini,. V. Giuliano,. L. Toro,. 2004. Sequential Extraction of Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area: Pollution Detection and Affinity Series. *Environmental Pollution*, 132, pp. 189- 201.

Robinson B. H, E. Lombi,. F. J. Zhao,. y S. P. McGrath,. 2003. Uptake and Distribution of Nickel and other Metals in the Hyperaccumulator *Berkheya Coddii*. *New Phytologist* 158, 279–285.

Sauquillo, A., A. Rigol,. y G. Rauret,. 2003. Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22, pp. 152-159.

Sauve, S., W. y H. E. Allen,. 2000. Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. *Environ. Sci. Technol.* 34:1125–1131.

Seoáñez Calvo M, 1999. Ingeniería del Medio Ambiente Aplicada al Medio Natural Continental Mundi-Prensa, México. Pág. 60, 181y 290

Serrano, R., y R. Gaxiola. 1994. Microbial Model and salt Stress Tolerance in plants. *Crit. Rev. PlantSci.* 13:121-138.

Singh, O.V., S. Labana,. G. Pandey,. R. Budhiraja y R.K. Jain,. 2003. Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination From Soil. Applied Microbiology and Biotechnology. 61: 405-412.

Spain, A. 2003. Implications Of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. Reviews In Undergraduate Research, 2,1-6.

Sumner, M.E. 1995. Sodic Soils; New Perspectives. In: Naidu, R; Sumner, M.E.; Rengasamy, P. (eds). Australian Sodic Soils. Distribution, Properties and Management. Adelaide: First National Conference and Workshop on Sodic Soils, , p.1-34.

Valdés P. F. 1999. La Contaminación Por Metales Pesados en Torreón Coahuila. En Defensa del Ambiente A.C Torreón Coahuila.

Valdés R. 1985. Estudio Fenológico de la UAAAN en el Área Correspondiente a Buenavista, Saltillo, Coahuila. Tesis de Licenciatura. UAAAN.

Volke, S. T., T. J. A. Velasco,. y A. De La Rosa,. 2005. Suelos Contaminados por Metales y Metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. S y G Editores, S.A. de C.V., México, D. F. ISBN: 968-817-492-0

Wang, Y. P., y C. C. Chao,. 1992. Effects of Vesicular- Arbuscular Mycorrhizae and Heavy Metals on the Growth of Soybean and Phosphate and Heavy Metal Uptake by Soybean in Major Soil Groups of Taiwan. J. Agric. Assoc. China New. Ser. 157, 6-20.

Xiong, Z. T. 1997. Bioaccumulation and Physiological Effects of Excess Lead in a Roadside Pioneer Species *Sonchus Oleraceus* L. *Environmental Pollution* 97 (3): 275-279.

Zhang, Q, L. C. Davis, y L. E. Erick,. 2000. Heavy Metal. In: *Hazardous Substance*.