

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA.**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.**



**Caracterización de Metales Pesados con Énfasis en Plomo**

**POR:**

**BLANCA NATALIA MARTINEZ PEREZ**

**MONOGRAFÍA.**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL**

**TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**Torreón Coahuila, México**

**Diciembre 2022**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Caracterización de Metales Pesados con Énfasis en Plomo.

Por:


**BLANCA NATALIA MARTINEZ PEREZ**

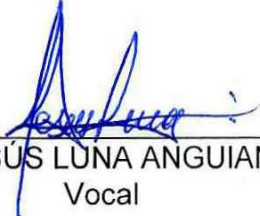
MONOGRAFÍA

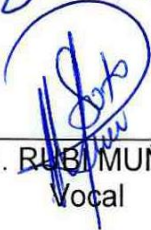
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
DR. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
DR. JESÚS LUNA ANGUIANO  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
M.A.C.H. RUBI MUÑOZ SOTO  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
M.C. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA  
Vocal Suplente

  
\_\_\_\_\_  
DR. J. ISABEL MÁRQUEZ MENDOZA  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Caracterización de Metales Pesados con Énfasis en Plomo.

Por:

**BLANCA NATALIA MARTINEZ PEREZ**

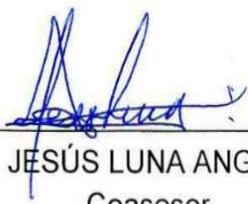
**MONOGRAFÍA**


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
DR. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
DR. JESÚS LUNA ANGUIANO  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
M.A.C.H. RUBI MUÑOZ SOTO  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
M.C. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
DR. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2022

## **DEDICATORIAS.**

Con todo el cariño y amor hacia mis padres:

### **Sra. Blanca Estela Perez Garcia**

Hoy no solo quiero agradecerte por darme la vida, sino también por estar junto a mí en cada paso, por guiarme y ayudarme a convertirme en la persona que soy ahora fue un arduo trabajo, pero hoy puedes apreciar los frutos. Por el apoyo moral y económico para poder seguir adelante con mi formación académica. Por siempre darme fuerzas para seguir adelante y nunca darme por vencida. Por las tardes y noches que me ayudo estudiar para un examen o una exposición y por sus sabios consejos. Le agradezco eso y mucho más.

### **Sr. Roque Manuel Martinez Mancilla.**

Por el apoyo moral, emocional y económico que me ayudo para seguir adelante con mis estudios. Eres sin duda mi gran ejemplo a seguir, me has llenado de fuerzas para luchar por todos y cada uno de mis sueños, gracias a eso hoy puedo decir que no solo soy feliz, sino que además soy una persona que tiene bastante claro lo que quiere en su vida. Nunca me cansaré de darte las gracias.

## **AGRADECIMIENTOS.**

**A mi familia**, por apoyarme en todo y darme la oportunidad de seguir mis sueños y objetivos, por sus consejos, por apoyarme a lo largo de toda mi carrera, por confiar en mí y creer en mí, les dedico a ustedes este gran logro.

**A mis amigos**, por estar ahí aconsejándome y ayudándome cuando lo necesitaba, por su apoyo al momento de que se me dificultaba algo, por sus valiosos consejos que me sirvieron de mucha ayuda.

**A mis profesores**, por brindarme el conocimiento adecuado durante la carrera, por compartir experiencias, brindarme consejos y herramientas que me servirán en mi futuro como profesional.

**A dios**, por darme salud y confianza durante toda mi carrera de ingeniería en procesos ambientales y por brindarle salud a mi familia para que estuvieran a mi lado en este largo camino.

Finalmente agradezco a mis asesores por guiarme en este proceso tan importante, por compartir de sus conocimientos, enseñanzas y consejos durante esta última etapa de la carrera, por brindarme de su tiempo en cada momento donde surgía una duda. Ustedes formaron parte importante de esta historia con sus aportes profesionales y les agradezco por todo eso.

## **RESUMEN.**

La presente monografía pretende enriquecer el conocimiento sobre el estudio de metales pesados en el suelo, la contaminación del medio ambiente constituye uno de los problemas más críticos en el mundo y es por ello por lo que ha surgido la necesidad de toma de conciencia y la búsqueda de alternativas para su solución.

El inicio de la revolución industrial a finales del siglo XVIII marco un importante desarrollo tanto socioeconómico como cultural debido al implemento en tecnologías que facilitan al hombre las actividades diarias. El uso de los avances tecnológicos en nuestros días se refleja como un descontrolado manejo de recursos naturales, lo que provoca un serio problema de contaminación ambiental.

Algunos de los metales pesados son indispensables para procesos metabólicos de plantas, animales y para el hombre pero solo en pequeñas cantidades, si se llega a niveles mayores de los tolerables para el organismo se manifiestan a corto mediano o largo plazo alteraciones severas que pueden producir hasta la muerte tales como afectación en el sistema renal, reproductivo, nervioso, enfermedades vasculares, bronquitis, cáncer de diferentes tipos, enfisema, infertilidad, afecciones neurológicas, entre otras.

En la comarca lagunera se encuentra ubicado el Río Nazas, factor importante para la economía agropecuaria de la región, donde se supone la presencia de arsénico y metales pesados atrapados en los sedimentos del río debido a que existen áreas agrícolas y mineras en zonas cercanas al cauce de este, las cuales se ven como fuentes importantes de contaminantes de metales pesados. Por lo anterior, se planteó la realización del presente trabajo de investigación.

**PALABRAS CLAVE:** Metales Pesados, Suelo, Medio Ambiente, Industria, Población.

## INDICE:

INTRODUCCION.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Antecedentes.....	3
Importancia a la salud.....	4
Plomo.....	5
Propiedades.....	6
Usos.....	6
Efectos en la salud.....	6
Fuentes.....	8
METALES PESADOS EN EL AMBIENTE.....	8
DEFINICIÓN GENERAL DE "SUELO".....	10
Efecto de los metales pesados en el suelo.....	10
Movilización de metales pesados en el suelo.....	11
LA CONTAMINACIÓN.....	13
Efectos ambientales del plomo.....	13
Causas del plomo en la salud.....	14
Plomo en el Medio Ambiente.....	15
LA SITUACIÓN EN TORREÓN.....	17
Síntomas que se manifiestan en etapas tempranas del envenenamiento: ...	19
Síntomas que se manifiestan en etapas más adelantadas:.....	19
Efectos del plomo en la salud de adultos.....	19
MÉTODOS PARA LA ELIMINACIÓN DEL PLOMO EN EL SUELO.....	21
Fitorremediación.....	21
Fitoextracción.....	22
Plantas Hiperacumuladoras de Metales Pesados.....	22
Investigaciones sobre la Fitorremediación.....	23
Identificación de contaminantes del suelo.....	24
Restauración y confinamiento de suelos contaminados.....	25
Vertido del suelo contaminado en un relleno sanitario.....	26
Evaluación de suelos potencialmente contaminados.....	26
RESTAURACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.....	27
Investigación, caracterización, evaluación y técnicas para la restauración de suelos contaminados.....	27
Política integral para prevenir y controlar la contaminación ambiental.....	27

Sustentabilidad del aprovechamiento de los recursos y de la administración de los residuos.....	28
Política ambiental para la prevención de la contaminación del suelo y su restauración.....	29
PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL SUELO.....	30
Propiedades químicas .....	31



## INTRODUCCION.

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 óxidos, sa, en Monterrey, y la reciente denuncia de la presencia de plomo en el agua de Salamanca, Guanajuato.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Antecedentes.

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).

Los metales pesados constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica que tienen una densidad mayor o igual a 5 g/cm<sup>3</sup>. El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados es que aun cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento como el Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, y Mo, se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas (Cañizares-Villanueva, 2000).

Los metales pesados son parte fundamental de las fuentes antropogénicas provenientes de desechos domésticos, agrícolas e industriales, los cuales son peligrosos para la biota marina, el hombre y el deterioro ambiental en general (Acosta *et al.*, 2002; Amat-Infante *et al.*, 2002; González-Lozano *et al.*, 2006).

Los metales pueden ser oxidados, reducidos o complejados, dependiendo del dinamismo del entorno químico en el que se localicen (García-Céspedes *et al.*, 2004).

Los metales pesados son especialmente interesantes desde el punto de vista ambiental y toxicológico por su alta toxicidad y su bioacumulación (Villalobos-Jáuregui *et al.*, 2006).

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).

### **Importancia a la salud.**

Los metales pesados cada vez amenazan más nuestra salud. Entre los metales pesados los más importantes en cuestión de salud son el hierro, el cromo, el mercurio, el cobalto, el manganeso, el plomo, el cadmio, el níquel, el selenio, el estaño, el talio y el zinc. Algunos elementos intermedios como el arsénico y el aluminio, los cuales son muy relevantes desde el punto de vista toxicológico, se estudian habitualmente junto a los metales pesados (Trimble *et al.*, 1999; Cañizares- Villanueva, 2000).

El envenenamiento de metales pesado es la acumulación tóxica de los mismos en los tejidos blandos del cuerpo (Awofolu *et al.*, 2005; Hu *et al.*, 2007), ocurre cuando las cantidades tóxicas de los metales pesados son Inhaladas como polvo, gases o vapores, ingeridas a través de la comida o bebida en sobredosis (accidental o intencional) o suplementos alimenticios/vitaminas (Cervantes *et al.*, 2006). Puede tener lugar a lo largo de los años o en cuestión de minutos (Meneses-González *et al.*, 2001; Galván-Bobadilla *et al.*, 2005).

Los factores de riesgo para el envenenamiento por metales pesados incluyen trabajar en agricultura, desarrollo de medicamentos, manufactura y exposición a contaminación ambiental (Navarro, 2006).

Los síntomas para el envenenamiento por metales pesados varían, dependiendo del tipo de exposición que haya tenido. Los síntomas comunes generales, incluyen náuseas, vómito, diarrea y dolor abdominal (Schmidt, 2003).

### **Plomo.**

El plomo es un metal pesado, azulado, suave y maleable, usado en varios procesos industriales. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. Nunca desaparece, sino que se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar a generaciones de niños y adultos a menos que sea retirado. En nueve sistemas de clasificación de riesgo citados por el Fondo para la Defensa Ambiental o Environmental Defense Fund, el plomo aparece como un material que es más peligroso que la mayoría de los productos químicos. Se le considera dentro del 10% de los materiales más peligrosos para la salud humana (Valdez-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 1999).

Los griegos y romanos hicieron el uso extenso del Plomo en la forma de tuberías del agua, de recipientes de almacenaje y de utensilios para cocinar. Algunos científicos han mantenido que la asimilación del Pb dio lugar a la declinación de las clases predominantes de ambos imperios (Keller *et al.*, 2001).

## **Propiedades.**

El plomo es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es Pb y su número atómico es 82 según la tabla actual, ya que no formaba parte en la tabla de Mendeleev. Este químico no lo reconocía como un elemento metálico común por su gran elasticidad molecular. El plomo es un metal pesado, de densidad relativa o gravedad específica 11,4 a 16°C, de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fundición se produce a 327,4°C y hierve a 1725°C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Los cuatro isótopos naturales son, por orden decreciente de abundancia, 208, 206, 207 y 204. Se cristaliza en el sistema cúbico en forma de cara centrada invertida (WIKIPEDIA, 2007c).

## **Usos.**

El plomo existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos. El plomo se emplea en la fabricación de baterías y en el revestimiento de cables eléctricos. Se utiliza industrialmente en las redes de tuberías, tanques y aparatos de rayos x. Debido a su elevada densidad y propiedades nucleares, se usa como blindaje protector de materiales radioactivos; entre las numerosas soldaduras, el metal tipográfico y diversos cojinetes metálicos. Una gran parte del plomo se emplea en forma de compuestos, sobre todo en pinturas y pigmentos (Valdez-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 1999). El plomo es uno de los contaminantes industriales más importante por su uso amplio (Villalobos-Jauregui *et al.*, 2006).

## **Efectos en la salud.**

La agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos ha clasificado el Pb como potencialmente peligroso y tóxico a la mayoría de las formas de vida (Awofolu *et al.*, 2005). Afecta a todos los sistemas del cuerpo

humano. En los niños, el plomo reduce el desarrollo intelectual, el crecimiento y la capacidad auditiva, causa anemia y provoca problemas de comportamiento y déficit de atención. A valores extremadamente altos de exposición, el plomo puede causar daño cerebral severo y la muerte. Los niños son especialmente susceptibles a la intoxicación por plomo (Villalobos-Jauregui *et al.*, 2006). Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sospecha que es tóxico para los sistemas endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones. La exposición al plomo, aún a niveles bajos, afecta a niños y a adultos. En cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte. La exposición a cantidades sumamente pequeñas de plomo puede causar a largo plazo daños medibles e irreversibles en niños aún cuando éstos no muestren síntomas particulares. Se ha encontrado que una concentración de 7 microgramos de plomo por decilitro de sangre ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) causa daños irreversibles en el sistema neurológico de los infantes. El plomo en la sangre de los niños puede provocar que un genio en potencia solo llegue a un nivel de aprovechamiento promedio o que un niño que hubiera tenido habilidades promedio quede discapacitado de por vida. Hay estudios que han relacionado una baja de 5.8 puntos en las pruebas de cociente intelectual (donde 100 sería la habilidad de la mayoría de los niños), por cada diez microgramos por decilitro en la sangre de un niño. Las autoridades médicas reconocen que no se ha identificado un umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo. La Academia Americana de Pediatría recomienda como nivel deseable de plomo en la sangre de los niños la cantidad de cero. Es importante recalcar que tampoco existe un nivel de plomo en sangre que pueda ser considerado normal. El plomo causa anemia en los niños y en los adultos al impedir la formación de moléculas que transportan el oxígeno. En los adultos, la exposición a niveles sumamente bajos de plomo causa incrementos pequeños pero significativos en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto. También en los adultos, el plomo causa enfermedades renales y afecta la fertilidad. La alta presión arterial (hipertensión) causada por la

exposición al plomo, contribuye a que mueran miles de personas cada año, especialmente personas entre las edades de 35 y 50 años. Se cree que el uso generalizado que le daban en la antigua Roma (en recipientes, tubería, etc.) tuvo que ver con la decadencia de su civilización. Los romanos usaban incluso el acetato de plomo, por su dulzura, como edulcorante del vino, agudizando la intoxicación quien lo bebía (Valdez-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 1999 ; Paniagua-Contreras *et al.*, 2003).

### **Fuentes.**

La literatura explica la presencia de altas concentraciones de plomo en el suelo por diversas causas en las que se cuentan la demolición de edificios que contienen ese metal, el uso de plaguicidas basados en plomo, la disposición indebida de baterías de plomo y sus empaques, las emisiones de las fundidoras, y de los incineradores de desechos de las operaciones mineras, el descascamiento o la remoción intencionada de pinturas basadas en plomo y las emisiones de vehículos propulsados por gasolina con plomo. Las fuentes de contaminación por plomo son múltiples e incluyen a las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura y las gasolinas con tetraetilo de plomo que se dejaron de usar en México en 1997 (Meneses-González *et al.*, 2001; Villalobos-Jauregui *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2007).

### **METALES PESADOS EN EL AMBIENTE**

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está 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 cm<sup>3</sup>. 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 nutrientes, 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).

## **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.

### **Efecto de los metales pesados en el suelo.**

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza 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).

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

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 movilizadas 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).

## **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.

### **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 pueden 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.

### **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**

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  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ; 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.

<b>Efectos</b>	<b>Nivel del plomo en la sangre</b> ( mcg/dl)
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 hombres; daños en el riñón	40
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.

## MÉTODOS PARA LA ELIMINACIÓN DEL PLOMO EN EL SUELO.

### 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 sesenta se realizaron investigaciones utilizando plantas para recuperar suelos contaminados con radio nucleótidos. 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 poli aromáticos, 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).

### **Identificación de contaminantes del suelo.**

Para iniciar la identificación de los posibles contaminantes presentes en un suelo, se parte de las características básicas como son el color, la textura y el olor de éste, para las últimas dos, se usan técnicas diversas, dependiendo de la exactitud requerida (textura) o de los compuestos presentes (olor).

Posteriormente es posible realizar las siguientes pruebas para su caracterización:

- **Parámetros preliminares.** Se determinará si el contaminante se encuentra en fase sólida, líquida o gaseosa.
- **Parámetros básicos.** Se determinarán parámetros electroquímicos como son el pH, las reacciones de óxido-reducción en medio acuoso y la conductividad y los parámetros de contaminación orgánica.

Para otros análisis, las muestras deberán ser sometidas a métodos de preparación como es la mineralización ácida o extracciones.

**Contaminación con compuestos orgánicos.** Existen diversas técnicas analíticas para determinar contaminantes orgánicos:

- Cromatografía de gases.
- Cromatografía líquida.
- Cromatografía de capa fina.

**Contaminación con compuestos inorgánicos.** Algunas técnicas utilizadas incluyen:

- Espectrometría de rayos X.
- Absorción atómica.
- Espectrometría de emisión.
- Cromatografía iónica.

**Afectación Biológica.** Evaluación de efectos ecotoxicológicos en los siguientes organismos:

- Daphnias.
- Algas.
- Bacterias.
- Lombrices de tierra.
- Vegetales.
- Insectos.

Otros parámetros para considerar en la contaminación del suelo son los parámetros de movilidad de los contaminantes:



- Retención por sólidos.
- Lixiviados (solubles).
- Volatilización.
- Degradación.

### **Restauración y confinamiento de suelos contaminados.**

En función de los análisis de riesgo realizados, existen 3 opciones posibles que pueden ser ejecutadas:

#### **Confinamiento.**

Consiste en recurrir al aislamiento y sellado del sitio contaminado, existen diferentes tipos de confinamiento que sólo serán mencionados:

- Sistemas de recubrimiento.
- Capas de protección superficial.
- Capa de drenaje.
- Capa de arcilla compactada y geomembranas.
- Capa drenante de gases.
- Pantallas impermeables o de aislamiento.
- Pantallas impermeables con base en fluido viscoso.
- Pantallas estructurales de hormigón armado.
- Pantallas por inyección de cemento.

#### **Restauración de suelos.**

Se entiende por técnicas de restauración a los procesos que se aplican a materiales contaminados para alterar su estado en forma permanente por medios químicos, físicos o biológicos. El objetivo de estos tratamientos es que los materiales contaminados sean sometidos a dichos procesos para que se disminuya o elimine su peligrosidad.

Existen diversas técnicas utilizadas para la restauración de un suelo o un sitio contaminado:

**Técnicas in situ.** Se refiere al tratamiento de materiales contaminados sin excavarlos ni sacarlos del lugar:

- Extracción de vapores del suelo y extracción del aire.
- Enjuague del suelo.
- Barreras electrocinéticas.
- Vitrificación.

- Estabilización y solidificación.
- Biorremediación.

**Técnicas fuera del sitio o sobre el sitio.** En estas técnicas se requiere la excavación del suelo para ser tratado, entre las más comunes se encuentran:

- Lavado del suelo.
- Incineración.
- Extracción con solventes.
- Deshalogenación química.
- Biorremediación.
- Desorción térmica.

### **Vertido del suelo contaminado en un relleno sanitario.**

Este caso es usado cuando el suelo contaminado presenta riesgos a la salud humana y al ambiente en general y no puede ser tratado de manera eficiente por las técnicas antes mencionadas para que alcance niveles satisfactorios en cuanto a riesgo se refiere.

### **Evaluación de suelos potencialmente contaminados.**

Para definir las medidas encaminadas al control y a la restauración de un suelo contaminado, es necesario llevar a cabo acciones pertinentes que permitan la gestión adecuada de éste. Los pasos para realizar esta evaluación incluyen los siguientes:

- Ubicar e identificar los suelos en los que exista la sospecha de contaminación.
- Llevar a cabo un estudio histórico del sitio, dando especial importancia a aquellas actividades (agrícolas, industriales, mineras), que pudieran haber tenido un impacto al suelo.
- Hacer reconocimientos de campo, describiendo de manera detallada el sitio.
- Realizar una planificación de los lugares y tipos de muestreo, análisis químicos, definición de parámetros, etc.
- Ejecución del muestreo y análisis.
- Análisis de la información obtenida.
- Descripción de los riesgos en función del tipo de contaminación del suelo.

## **RESTAURACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.**

### **Investigación, caracterización, evaluación y técnicas para la restauración de suelos contaminados**

La toma de decisiones respecto de la caracterización y restauración de un suelo o suelos en los que se sospecha existe contaminación, debe estar basada en una adecuada planeación de las estrategias a seguir, que permita la caracterización del suelo en zonas homogéneas tanto a nivel superficial como en el subsuelo.

- La primera etapa en este proceso consiste en la realización de estudios de tipo histórico del sitio, además de una descripción física del mismo. La segunda etapa consiste en una fase de reconocimiento del terreno y en una caracterización de los materiales existentes.
- Posteriormente, se deberá realizar una selección del método más adecuado para realizar el estudio de caracterización del problema, que dependerá del alcance que se le quiera dar a éste y del presupuesto disponible. En la figura 18 se muestran las etapas más importantes con relación a la gestión de un sitio (potencialmente) contaminado:

### **Política integral para prevenir y controlar la contaminación ambiental**

En lo que respecta a la prevención y control de la contaminación ambiental, la política nacional en la materia pone énfasis en la necesidad de abordar el problema con un enfoque integral, de manera a concebir simultáneamente las medidas necesarias para prevenir que una misma fuente emita al aire o descargue al agua sin control materiales y residuos, o genere y disponga inadecuadamente en el ambiente residuos sólidos que puedan constituir un riesgo para la salud, los estratos ambientales y los ecosistemas, por su peligrosidad intrínseca o por su forma de manejo y tratamiento.

## **Sustentabilidad del aprovechamiento de los recursos y de la administración de los residuos.**

Tal como lo definen sus principios, la política ambiental está orientada a promover el aprovechamiento sustentable de los recursos, así como el ahorro de energía, agua y materiales en los procesos de transformación de materias primas en productos o en el aprovechamiento de materiales usados con valor económico y calorífico.

Para lograr la sustentabilidad del aprovechamiento de los materiales susceptibles de tratamiento y de los sistemas de administración ambiental de los residuos, entre otros, se identifica la necesidad de considerar los siguientes aspectos:

- Las características y contextos particulares de cada región del país, distinguiendo entre zonas urbanas y rurales.
- La infraestructura para la administración de los servicios de aseo urbano existentes.
- Los avances logrados en materia de aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos y de creación de infraestructura para ello.
- La participación real o potencial de grupos sociales en la segregación de los materiales reciclables.
- Los costos requeridos para contar con los sistemas de manejo integral de los residuos sólidos apropiados a cada región y zona del país.
- El grado de concientización de la ciudadanía y de los diversos actores y sectores involucrados en la generación y administración del manejo integral de los residuos sólidos.
- La aceptación y participación social en los programas de minimización y manejo ambiental integral de los residuos sólidos.
- Las instituciones o grupos locales que pueden contribuir a diseñar e instrumentar los programas de minimización y manejo ambiental integral de los residuos.
- Las oportunidades de contribución al alivio de la pobreza, de creación de empleos y de involucramiento de mujeres en los programas de minimización y manejo integral de los residuos sólidos.

## **Política ambiental para la prevención de la contaminación del suelo y su restauración**

### **Principios Fundamentales**

La Política de protección de los suelos y de restauración de los sitios contaminados es una herramienta que permite contribuir al desarrollo sustentable de la sociedad, como prevé el Programa del Medio Ambiente 1995-2000.

Entre otros aspectos, el desarrollo sustentable estipula que la utilización actual de los recursos y del ambiente debe realizarse sin comprometer las perspectivas de aprovechamiento de tales recursos por las generaciones futuras y su calidad de vida. De los principios incluidos en el concepto de desarrollo sustentable, cuatro en particular son aplicables a la gestión de los sitios contaminados y fundamentan la estructura operativa de la política en la materia: el principio de prevención, el principio de rehabilitación-valorización, el principio de “el que contamina paga” y el principio de equidad.

### **Principio de prevención.**

Contaminar un suelo, es hacer que pierda en cierto grado, una o varias de sus funciones potenciales. La contaminación de este recurso genera un problema socioambiental y un freno a la economía. Los impactos sobre la salud humana, la degradación del ambiente, la pérdida del uso de terrenos y de mantos de agua subterránea, así como la incertidumbre de posibles inversionistas son consecuencias directas de la presencia de contaminantes en los suelos.

La restauración de un terreno es un proceso costoso que no permite siempre recuperar todos los usos posibles. Así cientos de terrenos presentan hoy una problemática más o menos pronunciada y no podrán ser utilizados sin limitantes por las generaciones futuras.

El principio de prevención está orientado a impedir que este tipo de situación se repita, por lo que tiene como meta preservar la integridad de los

suelos con el fin de salvaguardar sus funciones ecológicas y garantizar el pleno uso de este recurso en la actualidad y en el futuro.

### **Principio de rehabilitación - valorización**

La sociedad actual tiene la responsabilidad de remediar los sitios contaminados por la disposición inadecuada de los residuos, que representen un riesgo inadmisibles para la salud humana o para el ambiente, evitando al máximo que los daños resultantes de los errores del pasado sean heredados a generaciones futuras.

Un terreno contaminado representa un riesgo potencial, aunque no exista impacto actual evidente, ya que actividades mal planeadas como cambios en el uso del suelo, trabajos de drenajes o de excavación realizados sobre el terreno, pueden hacer que este riesgo se vuelva significativo. Terrenos hipotecados por modos de producción y de consumo que no fueron orientados hacia un desarrollo sustentable no deben ser abandonados y olvidados.

La rehabilitación no debe solamente corregir la situación existente, sino debe también buscar su revalorización, es decir, volver a dar al terreno un máximo de uso y reintegrarlo al ciclo de desarrollo sustentable. De la misma manera, los suelos contaminados excavados y los materiales contaminados que pueden ser recuperados por la rehabilitación de dicho terreno contaminado, deben ser administrados de tal manera que se revaloricen y vuelvan a ser utilizados.

Aunque no sea posible rehabilitar de inmediato todos los terrenos contaminados, la población actual tiene el deber como sociedad responsable, de promover el concepto general de rehabilitación, elaborar una estrategia de acciones que permitan concretar este concepto y aplicar desde ahora esta estrategia en los casos prioritarios.

## **PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO**

El propósito de la inclusión de este tema en el marco del análisis de los elementos a considerar al establecer una política para el desarrollo de sistemas

integrales de gestión de residuos sólidos es proporcionar elementos conceptuales y criterios para proteger los suelos al disponer en ellos los residuos, evaluar los riesgos derivados de su contaminación e identificar opciones para su restauración.

### **Propiedades químicas**

Gran parte de los componentes del suelo, terminan por convertirse en compuestos solubles que constituyen la solución del suelo (fase líquida) de la que se nutren los vegetales. En algunos casos, los suelos muy ácidos evolucionan con el tiempo hacia suelos de características neutras o ligeramente alcalinas. Los cambios en las propiedades se deben a transformaciones químicas producto de mecanismos de tipo electroquímico y en otros casos a mecanismos puramente químicos.

**El pH del suelo.** El pH es una propiedad química de los suelos, que determina el comportamiento y la evolución de los componentes químicos de éstos, así como la actividad y funciones de los seres vivos presentes. Comúnmente, en las zonas húmedas se tendrán suelos ácidos, mientras que en las zonas áridas los suelos tienden a ser más alcalinos.

**Suelos calizos.** Los suelos calizos contienen carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); compuesto relativamente insoluble. Cuando éste se encuentra en el suelo, presentará una gran saturación de bases. El pH estará controlado por la hidrólisis del  $\text{CaCO}_3$ , que suele oscilar entre 7 y 8.4. En las zonas áridas son comunes los suelos calizos, que tienen características particulares y comúnmente presentan deficiencias de los oligoelementos zinc, cobre, hierro, manganeso, boro, etc.

**Suelos salinos.** En estos suelos existen sales en proporción suficiente como para aumentar la presión osmótica de la solución del suelo y dificultar de esta forma la absorción de agua por los vegetales; estos suelos tienen una fuerte concentración relativa de sales solubles como cloruros, sulfatos o nitratos y a veces bicarbonatos. Con cierta frecuencia en estos suelos están presentes algunas sales relativamente insolubles, como el sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ). El pH en estos casos oscila entre 7.9 y 8.60, y los suelos son pobres en materia orgánica y en vegetación, que se limita a algunas especies halofitas. Estos suelos son muy sensibles a la erosión.

**Suelos salino-sódicos.** Son suelos con una alta concentración de sales solubles, con un porcentaje de sodio intercambiable superior a 15 y un pH inferior a 8.6. En caso de que se presente una precipitación intensa o un vertido proveniente de alguna localidad, estas sales pueden ser lixiviadas.

**Suelos sódicos.** En estos suelos la concentración de sales no es tan alta mientras que el porcentaje de sodio intercambiable es superior a 15, su pH oscila entre 8.4 y 10 y la materia orgánica se presenta dispersa (esto ocurre sobre todo al aplicar vertidos continuos). La solución del suelo contiene sobre todo sodio y cantidades menores de calcio y magnesio, aquí también estarán presentes algunos cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos.

**Nutrientes y pH.** Una de las consecuencias más importantes del pH es su influencia directa sobre los organismos del suelo: al aumentar el pH, algunos elementos como el manganeso o el fierro se vuelven menos solubles, lo mismo ocurre con el fósforo o el boro. Así los suelos calizos tienen con frecuencia un déficit y carencias de estos elementos. El pH más apropiado para que la vegetación tenga nutrientes disponibles, debe ser ligeramente ácido, del orden de 6.4 a 6.7.

**Alteraciones del pH.** Una modificación del pH, puede ocasionar alteraciones muy importantes en lo que se refiere a la biodisponibilidad de elementos, por un lado pueden presentarse excesos (toxicidad) y por otro deficiencias, por lo cual la contaminación y/o tratamiento de suelos agrícolas, pueden generar cambios en el pH con repercusiones serias.

**Óxido-Reducción.** Las condiciones de óxido-reducción determinan el comportamiento de los elementos químicos que tienen distintas valencias, como ocurre con el fierro, nitrógeno, azufre, manganeso y cromo entre otros y también rigen el funcionamiento biológico de las raíces y de los microorganismos de los que depende la presencia o ausencia de oxígeno. La estabilidad de un suelo, como en gran parte de los medios físicos, estará determinada por la estabilidad del agua. La importancia del tipo de reacción en función del potencial de óxido-reducción es clara, ya que dependiendo del caso se constituirá un medio aerobio o anaerobio, lo que tendrá un impacto directo sobre las reacciones químicas y bioquímicas que se dan en el suelo.



**Reacciones electroquímicas y de adsorción.** Los tres tipos de fenómenos de superficie (electrostáticos), que se originan en las partículas sólidas activas y que producen reacciones de intercambio son:

**La sustitución isomórfica.** Se le conoce como carga permanente pues no depende de condiciones externas.

**La disolución iónica** (hidrólisis de los metales con alta carga/radio o rompimiento físico de enlaces), se conoce como carga variable.

**La ionización** (disociación de grupos polares orgánicos en solución), conforma una carga variable que depende del pH del medio.

**LITERATURA CITADA.**

**Abollino, O.**, Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. y Barberis, R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*, 119, p. 177.

**Agency** for Toxic Substances and Disease Registry 2005. Division of Toxicology. ATSDR Information Center: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html#bookmark05>.

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

**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.

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

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

**Brown, S. L.**, Chaney, R. L., Hallfrisch, J. G., 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.**, Wilson, M.A., Keck, T.J., Dougherty, B.D., Strom, D.E., Lindahl, J.A., 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.

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

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

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

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

**Christie, P.,** Li, X., Chen, B. 2004. Arbuscular Mycohriza 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.,** Skjemstad J.O., and J.M. 1993. Influence of Clay Minerals and Organic Matter on Effects of Sodicy 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.,** Prasad, M. N. V., y Pratas, J. 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.**, Dorronsoro, C. 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.

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

**Gouia, H.**, M.H. Ghorbal, and C.B. Touraine. 1994. Effects of NaCl on Flows of and Mineral Ions and NO<sub>3</sub>- Reductasa Rate Within Whole Plants of Salt sensitive Bean and Tolerant Cotton. Plant Physiol. 105:1409-1418.

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

**Harvey, P. J.**, Campanella B. F, Castro P. M. L, Harms H, Lichtfouse E, Schäffner A. R, Smrcek, S. and Werck-Reichhart D. 2002. Phytoremediation of Polyaromatic Hydrocarbons, Anilines and Phenols. Environmental Science and Pollution Research 9, 29-47.

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

**Huang, C. P.** 1999. Environmental Soil Chemistry and Human Welfare. 14° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Temuco. Chile.

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

**Lombi E,** Zhao FJ, Dunham SJ and McGrath SP 2001. Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation Versus Chemically-Enhanced Phytoextraction. *Journal of Environmental Quality* 30, 1919-1926.

**Laboratorio de salinidad de E.U.A.** 1982. Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. Limusa S.A. Mexico DF.

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

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

**McGrath, S. P,** Lombi, E., Zhao, F. J., y Dunham, S. J. 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.

**Pineda, H. R.** 2004. Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de *Glomus Intraradices* en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus L.*) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima. Tecoman, Colima.

**Prasad, M. N. V.** y H. M. Freitas. 2003. Metal Hyperaccumulation In Plants Biodiversity Prospecting For Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology* 6 (3). 285– 321.

**Pagnanelli, F.**, Moscardini, E., Giuliano, V., Toro, L. 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.

**Pulfort I. D.**, y Watson, C. 1993. *J. Environ. Inten.* 29:529-540

**Ramos R. R.** 2000. Aplicación de Sustancias Húmicas Comerciales como Productos de Acción Bioestimulante Efectos Frente al Estrés Salino. Tesis de Doctorado Universidad de Alicante España.

**Reeves R. D** y AJM Baker 2000. Metal-Accumulating Plants. In: Raskin I & BD Ensley (Eds) *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment*: 193-229. John Wiley and Sons Inc., New York, New York, USA.

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

**Sauquillo, A.**, Rigol, A. y Rauret, G. 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.** Henderson, and 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.

**Serrano, R.**, and 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.

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

**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.

**Tarafdar, C. J.**, and Rao, V. A. 1997. Response of Arid Legumes to VAN Fungal Inoculation. *Symbiosis.* 22:264-274

**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.,** Velasco, T. J. A y De La Rosa, A. 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 Chao, C.C. 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,** Davis, L. C., y Erick, L. E. 2000. Heavy Metal. In: Hazardous Substance.