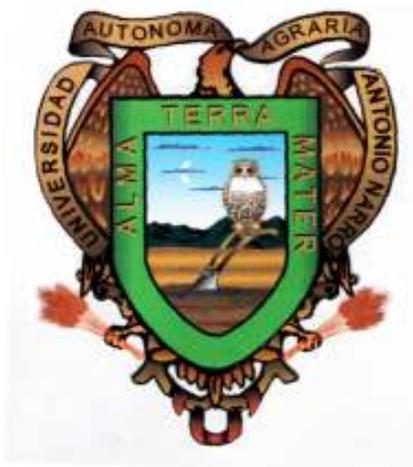


# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS DEL EJIDO SAN  
MIGUEL MUNICIPIO DE MATAMOROS, COAHUILA.**

**POR**

**MAYRA LUISA MEDINA ROMERO**

**T E S I S**

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

**INGENIERO EN PROCES AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**FEBRERO DEL 2014.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

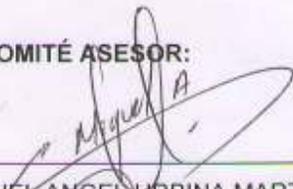
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DETERMINACIÓN DE DE METALES PESADOS EN SUELOS DEL EJIDO  
SAN MIGUEL MUNICIPIO DE MATAMOROS COAHUILA.

TESIS:

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES.

APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR:

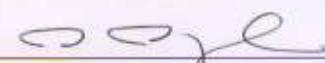
Presidente:

  
MC. MIGUEL ANGEL URBINA MARTINEZ

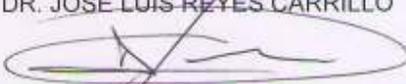
Vocal:

  
ING. RUBI MUÑOZ SOTO

Vocal:

  
DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

Vocal Suplente:

  
DR. ALFREDO OGAZ

  
DR. FCO. JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
CARRERAS AGRONÓMICAS.



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DEL 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DETERMINACIÓN DE DE METALES PESADOS EN SUELOS DEL EJIDO  
SAN MIGUEL MUNICIPIO DE MATAMOROS COAHUILA.

TESIS:  
QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ REVISOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR EL COMITÉ REVISOR:

Asesor principal:

  
MC. MIGUEL ANGEL URBINA MARTINEZ

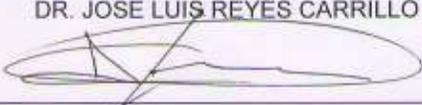
Asesor:

  
ING. RUBI MUÑOZ SOTO

Asesor:

  
DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

Asesor Suplente:

  
DR. ALFREDO OGAZ

  
Dr. FCO. JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DEL 2014.

## **AGRADECIMIENTOS.**

***A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por formar parte de mi educación.***

***Al departamento de biología, especialmente a todos los que fueron mis maestros, por su formación.***

***Al laboratorio de suelos, por la ayuda que me brindaron al permitirme realizar las pruebas y a los laboratoristas por su apoyo y tiempo que dedicaron a este trabajo.***

***Al Dr. Miguel Urbina, a quien le agradezco sinceramente por su apoyo para la realización de este proyecto, las enseñanzas, y sin más por la amistad brindada durante mi paso por la “Narro”***

***Al Dr. José Luis Reyes Carrillo por su dirección, por compartir su conocimiento y experiencia profesional para la elaboración de este trabajo durante todo el proceso, por su orientación, su aportación a lo largo de las presentaciones.***

## **DEDICATORIAS.**

***A Jehová, Dios.*** *Por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

***A mis padres, Carlos Medina Gómez y San Juana Romero García.*** *Por ser la base sobre la que se ha formado mi personalidad. Gracias por haberme colmado siempre de abrigo, de seguridad y de amor, por haberme dado todo lo que necesitaba para crecer y desarrollarme, por creer en mí. Gracias por alentarme a mantenerme siempre en pie, gracias por asegurarme que podría crecer y alcanzar el éxito en cualquier cosa que me propusiera, si creía en mí, de la misma manera, en que ustedes lo hacían.*

*Gracias por mostrarme un mundo lleno de amor y maravillas, me enseñaron a encontrar mi propio camino, y me han hecho mucho más feliz, de lo que puedan imaginar.*

***A mis hermanos, Eduardo y Gael.*** *Por ser parte principal del motor, infinita fuente de motivación y felicidad.*

***A mis maestros.*** *Dr. Miguel Ángel Urbina por su gran apoyo para la elaboración de esta tesis; Al Dr. José Luis Reyes Carrillo por su apoyo ofrecido en este trabajo.*

***A mis amigos.*** *Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos; por todos esos momentos que jamás olvidare- Fernando, Nancy, Janeth y Carmen.*

***A Todas las personas que amo y habitan en mi corazón,*** *por su cariño, su empuje a salir adelante y motivación para la culminación de mis estudios profesionales.*

*Para todos aquellos que creyeron en mí, que me dieron palabras de aliento para salir a delante y sobre todo su ejemplo.*

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
<b>INDICE DE CUADROS</b>	VI
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	VII
<b>RESUMEN</b>	VIII
<b>SUMMARY</b>	IX
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>OBJETIVOS</b>	3
<b>HIPÓTESIS</b>	4
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	5
<b>Metales Pesados</b>	5
Importancia ambiental y económica de los metales pesados	5
Importancia en la salud	7
Dinámica de los metales pesados	7
Fuentes antropogénica	10
Textura	13
Estructura	13
Mineralogía de las arcillas	13
Materia orgánica	14
Capacidad de cambio	14
Condición Redox	14
Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn	16
Carbonatos	16
Salinidad	16
Dinámica de los contaminantes en el suelo	17
Comportamiento de los metales en el sistema suelo-planta	18
Umrales de contaminación en edafología	19
Efectos desfavorables de la contaminación	19
Efectos directos de sobre los suelos	20
Efectos indirectos de sobre los suelos	20
<b>Arsénico</b>	20

Propiedades	21
Usos	21
Efectos en la salud	22
Fuentes	22
<b>Cadmio</b>	23
Propiedades	23
Usos	23
Efectos en la salud	24
Fuentes	25
<b>Cobre</b>	25
Propiedades	25
Usos	26
Efectos en la salud	26
Fuentes	27
<b>Plomo</b>	28
Propiedades	28
Usos	29
Efectos en la salud	29
Fuentes	31
<b>Zinc</b>	31
Propiedades	31
Usos	32
Efectos en la salud	32
Fuentes	33
<b>Contaminación de suelo, agua y sedimentos con metales pesados</b>	34
Agua	37
Sedimentos	39
Ley, reglamento y normas en materia de suelo, agua y sedimentos	44
Suelo	46

Reglamento Interno de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales	49
Norma Oficial Mexicana en materia de suelo	50
Agua	50
Ley de Aguas Nacionales	50
Ley general del equilibrio y protección al medio ambiente	53
Normas Oficiales Mexicanas en materias de agua	53
Sedimentos	55
<b>MATERIALES Y METODOS</b>	56
Localización geográfica de los sitios de muestreo	56
Ubicación geográfica del área estudio	57
Determinación de los sitios de muestreo	57
Toma de muestras	58
Análisis químico o variables a evaluar	59
Análisis de los metales pesados	59
Análisis y modelo estadístico	60
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	61
<b>CONCLUSIONES</b>	70
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	71

## INDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PAG.
Cuadro 1.- Localización geográfica de los puntos de muestreo.	56
Cuadro 2.- Promedios generales de los análisis químicos del sedimento a 3 profundidades.	58
Cuadro 3.- Análisis químico realizados en suelo.	59
Cuadro 4.- Análisis de varianza para la concentración de As.	62
Cuadro 5.- Análisis de varianza para la concentración de Cd.	63
Cuadro 6.- Análisis de varianza para la concentración de Cu.	65
Cuadro 7.- Análisis de varianza para la concentración de Pb.	67
Cuadro 8.- Análisis de varianza para la concentración de Zn.	69

## INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PAG.
Figura 1.- Riesgos y legislación en materia de suelos contaminados por metales pesado	8
Figura 2.- Índices de bioacumulación contra grado de acumulación de los metales pesados	9
Figura 3.- Principales fuentes antropogenicas generadoras de metales pesados	11
Figura 4.- Factores del suelo que afectan su acumulación y disponibilidad	12
Figura 5.- Influencia del pH en la adsorción de algunos metales.	13
Figura 6.- Comportamiento del sulfuro de plomo en el gua en aumento del potencial Redox.	15
Figura 7. La dinámica de los contaminantes en el suelo y las interacciones entre planta-animal-hombre-medioambiente son factores todos ellos a tener en cuenta a la hora de evitar problemas de contaminación.	17
Figura 8.- Ubicación geográfica del área de estudio.	57

## **RESUMEN.**

El presente trabajo se realizó en el año 2013, donde fueron tomadas las muestras del suelo: en el ejido San Miguel Municipio de Matamoros Coahuila. Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de suelos, ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el Municipio de Torreón, Coahuila, México. Durante los meses de enero a marzo del mismo año. El objetivo principal consistió, en caracterizar el estado actual de los suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la comarca lagunera, al determinar el contenido de cinco metales pesados. En arsénico la localidad de Matamoros resulto con el mayor valor 0.18 ppm, para cadmio, resulto con el valor más alto 0.49 ppm, en concentraciones de cobre el mayor valor resulto con 8.2 ppm, para el plomo, el mayor valor fue para Zinc con 27.83 ppm, la mayor concentración se encontró fue con 22.11 ppm. Lo anterior muestra que estos suelos presentan altas concentraciones de metales pesados.

**Palabras clave:** Metales pesados, suelos agrícolas, cultivos agrícolas, Plomo, Cadmio, Arsénico.

## **SUMMARY.**

This work was done in 2013 , where they were taken soil samples : in the ejido San Miguel Matamoros Municipality of Coahuila. Soil samples were analyzed in the soil laboratory , located on the premises of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro Laguna Drive , in the city of Torreón, Coahuila, Mexico . During the months of January to March of the same year . The main objective consisted in characterizing the current state of agricultural soils with vegetable crops in the Laguna region, to determine the contents of five heavy metals. In the town of Matamoros arsenic resulted in the highest value 0.18 ppm for cadmium, resulted in the highest value 0.49 ppm in copper concentrations resulted in the highest value 8.2 ppm for lead, the greatest value for Zinc was 27.83 ppm, the highest concentration was found guilty of 22.11 ppm. This shows that these soils have high concentrations of heavy metals.

**Keywords:** Heavy metals, agricultural soils, crops, Lead, Cadmium, Arsenic.

## **INTRODUCCIÓN**

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos (Valdés Perezgasga y Cabrera Morelos ,1999).

Concentración de metal total en el suelo no corresponde necesariamente con la biodisponibilidad de metal. La biodisponibilidad de los metales pesados depende de un número de factores físicos y químicos en el suelo. Estos incluyen las propiedades del suelo por ejemplo pH, contenido de materia orgánica, sulfato, carbonato, hidróxido, la textura del suelo y el contenido de arcilla.

La contaminación del suelo consiste en una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo como consecuencia de la acumulación de sustancias tóxicas en unas concentraciones que superan el poder de amortiguación natural del suelo y que modifican negativamente sus propiedades. Esta acumulación se realiza generalmente como consecuencia de actividades humanas exógenas, aunque también se puede producir de forma natural o endógena cuando los procesos de edificación liberan elementos químicos contenidos en las rocas y los concentran en el suelo alcanzando niveles tóxicos (Ortiz I. et al., 2009).

El problema en la comarca lagunera es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, entre otros, estos elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de estos elementos de hecho ocurre lo contrario sino a que han sido utilizados por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar

conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa (Valdés Perezgasga y Cabrera Morelos ,1999).

Las concentraciones más que trazas de metales nueve [As (V), Cd (II), Co (II), Cu (II), Hg (II), Mn (II), Ni (II), Pb (II) y Zn (II)] se ha informado que ejercen efectos fitotóxicos en cultivo solución. A pesar de un metal traza importante, Al no fue incluido en el estudio actual, ya que su resultado efectos tóxicos de la acidificación del suelo, ni se traza metales raros (como el Ga, Di-s, y Sc) incluidos. Además, la toxicidad de Fe se limita a suelos saturados de agua, y si bien puede ser de particular interés en las condiciones de arroz, que fue excluido del presente estudio. Para el arsénico, sólo arseniato, As (V), se consideró; esta especie domina en condiciones aerobias. Dado el amplio rango de concentraciones que se han divulgado para ser tóxicos, los criterios se estableció por primera vez para minimizar la influencia de las condiciones experimentales en la aparente "toxicidad" de los nueve metales traza. Esta revisión de la literatura incluye únicamente los resultados de esos estudios que cumplan los criterios (Kopittke P. *et al.*, 2010).

La importancia de la hiperacumulación se da por que los metales pesados están presentes de forma natural en los suelos, pero en los últimos años las actividades industriales y la deposición de residuos tóxicos de todo tipo han contribuido a la acumulación de estos elementos en los suelos. A menudo la contaminación por metales pesados está directamente causada por la actividad industrial y minera, pero los casos más graves se han dado de forma accidental Metales como el Pb, Hg, Cd, As, Se y Cr son muy dañinos para la salud humana y para la de la mayoría de organismos vivos (Llugany M. *et al.*, 2007).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

El objetivo General de esta Tesis consiste en Caracterizar el Estado actual de los Suelos Agrícolas con Cultivos Hortícolas del ejido San Miguel Municipio de Matamoros Coahuila México. Para alcanzar este Objetivo, se han Planteado diferentes objetivos específicos.

### **Objetivos específicos:**

- Analizar las propiedades y características edáficas de estos suelos agrícolas.
- Determinar el contenido total y extraíble de Cinco metales pesados (As, Cd, Cu, Pb y Zn) en diferentes muestras de suelos seleccionadas aleatoriamente.
- Realizar una propuesta de niveles de fondo y valores de referencia para metales pesados en este tipo de suelos.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis General**

- Los suelos del ejido San Miguel presentan una concentración de metales pesados como (As, Cd, Pb, Zn, Mg, Cu, Hg), que rebasan los límites máximos permisibles, ya que desde el suelo los metales pueden ser transferidos a otras partes del ecosistema entrando en la cadena trófica.

### **Hipótesis Específicas**

- Las concentraciones de arsénico y metales pesados presentes en los suelos rebasa el límite máximo permisible según la norma establecida.
- Existe relación entre la concentración de metales pesados con las características físicas y químicas del suelo.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Metales pesados**

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 aún 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).

### **Importancia Ambiental y Económica de los Metales Pesados**

Los metales se cuentan entre los materiales más útiles que se conocen. En el proceso de su aprovechamiento, el hombre los ha extraído de los depósitos subterráneos, los ha fundido, refinado y convertido en bienes de consumo que, después de usados, desecha. Durante cada una de estas operaciones se liberan metales al ambiente (Wong *et al.*, 2006). La minería expone las rocas ricas en metales a una meteorización acelerada. La fundición y el refinado provocan a menudo la liberación de pequeñas cantidades de metales como productos

secundarios. En el transcurso de su empleo, los metales están sujetos a corrosión y desgaste, lo cual conduce a pérdidas hacia el ambiente. En algunos casos el uso de un metal implica una liberación directa del mismo (Giddings *et al.*, 2001).

El desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos, ha provocado la presencia de muchos metales en cantidades importantes en el ambiente, provocando efectos nocivos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas (Cobelo-García *et al.*, 2005). El estudio de los metales es de gran importancia en términos de contaminación ambiental debido a sus efectos tóxicos sobre los organismos vivos (Giddings *et al.*, 2001). La acumulación de éstos, sobre todo en áreas urbanas, genera la dispersión de gran diversidad de compuestos en suelos, aguas superficiales y aire, con la consecuente filtración de los mismos hacia las aguas subterráneas: Los acuíferos que constituyen la reserva de agua potable (Suarez y Reyes, 2002).

El impacto ambiental de los contaminantes metálicos es estrictamente dependiente de la capacidad de reacción de éstos con componentes del medio ambiente y su respuesta a las condiciones fisicoquímicas y biológicas de su entorno (Vullo, 2003).

Además del uso directo, otras actividades humanas causan contaminación ambiental por metales. Por ejemplo, la quema de combustibles fósiles (incluida la gasolina con aditivos) parece ser la fuente más importante de emisiones de metales en la atmósfera. A diferencia de los contaminantes de origen orgánico, los metales no se pueden degradar ni biológica ni químicamente; aún cuando los compuestos que contienen metales pueden alterarse, éstos permanecen. De los 106 elementos conocidos, 84 se clasifican como metales, por tanto, las oportunidades de contaminación metálica son numerosas. No obstante, no todos representan riesgos para el ambiente; algunos no son tóxicos mientras que otros, aun cuando lo sean, son muy escasos o sus compuestos son insolubles. Como resultado, sólo algunos de ellos (Hg, Cd, Pb, entre otros) se consideran en la actualidad como contaminantes ambientales (Donahue *et al.*, 2006).

## **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).

## **Dinámica de los metales pesados en el suelo**

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.

- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas como se esquematiza en el siguiente cuadro (adaptado de Calvo Anta, 1996).

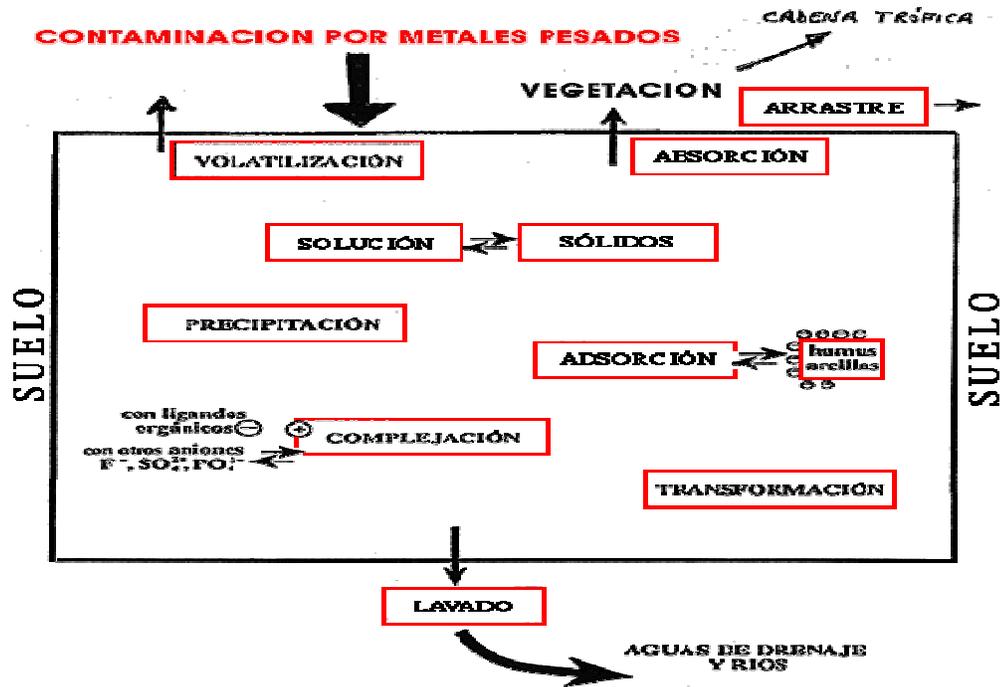
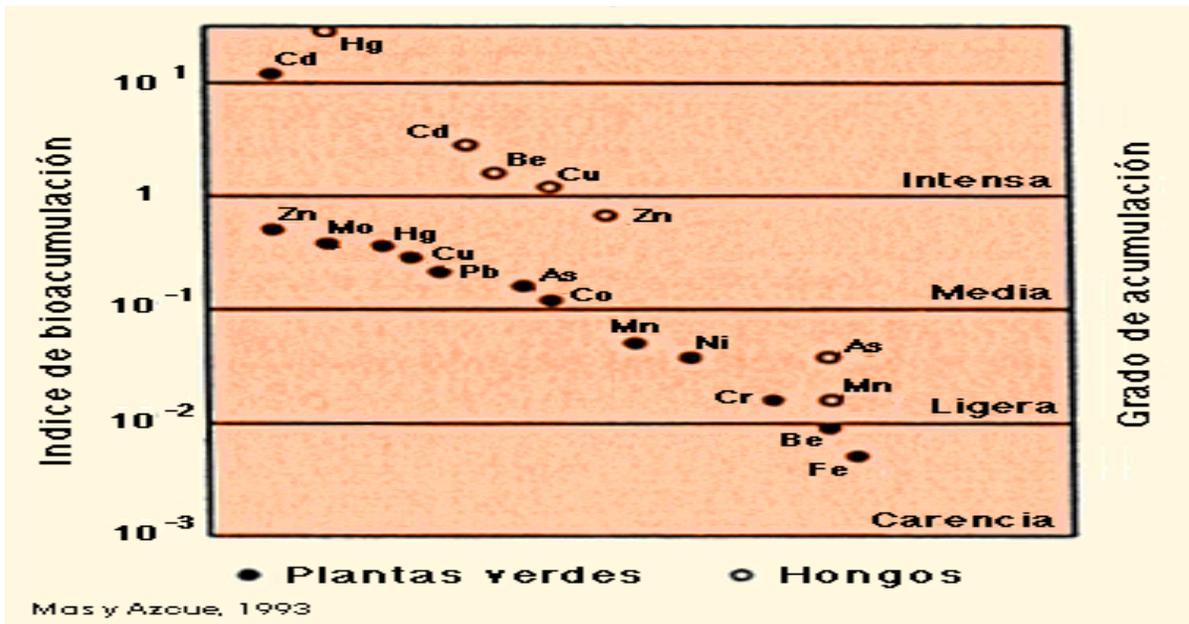


Figura 1.- Riesgos y legislación en materia de suelos contaminados por metales pesados.

Los riesgos producidos son función, fundamentalmente, de:

- La toxicidad
- El carácter acumulativo de cada elemento, destacando aquellos metales que presenten un índice de bioacumulación superior a 1.

El concepto de bioacumulación se refiere a la acumulación de contaminantes en los organismos y el índice de bioacumulación se expresa por la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el suelo.



**Figura 2.- Índices de bioacumulación contra grado de acumulación de los metales pesados.**

De entre los iones metálicos más tóxicos cabe destacar el Cd y Hg. El primero se encuentra en forma catiónica y sus propiedades se asemejan a las del ión calcio. Su interacción con los constituyentes edáficos es más fuerte que la de este último. Debido a su extrema toxicidad, cualquier vertido en el suelo da lugar a situaciones muy problemáticas.

El mercurio en el suelo se presenta, en principio, precipitado como hidróxido Hg (OH)<sub>2</sub>. No obstante, en medios no muy oxidantes el Hg (II), puede reducirse a Hg (I) y después a mercurio metálico, el cual es muy volátil y puede difundirse fácilmente por los poros del suelo.

Para definir los umbrales de toxicidad para los distintos contaminantes, un primer paso, muy útil, es calcular los valores normales que presentan los suelos naturales, no contaminados. A partir de este fondo geoquímico se puede establecer los umbrales mínimos que pueden representar contaminación y definir los niveles de toxicidad. Estos niveles han de ser contrastados con estudios sobre las repercusiones en vegetales y animales.

Para el reconocimiento de la contaminación se utilizan los "niveles de referencia" que conllevan sistemas de alerta, vigilancia y control. Por encima de estas guías se encuentran los "niveles de intervención" que obligan ya a tomar medidas correctoras. La toxicidad de un suelo debida a los metales pesados y elementos asociados es una consecuencia directa de sus concentraciones en las fases bioasimilables; es decir, la solución del suelo y las formas adsorbidas.

Esta fracción asimilable se equipara a la extraída por DTPA o por EDTA y a ella se deberían referir los diferentes niveles de toxicidad. Pero por la dificultad de extracción, es por lo que las normativas prefieren evaluar la cantidad total de elemento tóxico presente. Se supone que existe un equilibrio entre la fase soluble y la cantidad total presente (Lindsay, 1979, calcula que el 10% del total se encuentra en fase soluble). Pero en esta correspondencia intervienen numerosos factores tanto del elemento tóxico en sí como de las características del propio suelo (conceptos ya expuestos anteriormente). Por ejemplo, para una misma concentración de elementos tóxicos en un suelo, la concentración de la fase asimilable será mucho más elevada para un suelo ácido que para uno neutro o alcalino. Sería correcto indicar que la concentración en la fase asimilable es una medida directa de la peligrosidad real o presente, mientras que la concentración total es válida para evaluar la peligrosidad potencial o futura y solo representa de una manera indirecta y aproximada de la toxicidad actual de un suelo. No obstante, de todo lo ya anteriormente expuesto se deduce que para cada agente contaminante un sólo valor no puede representar el nivel de toxicidad válido para todos los tipos de suelos, para todos los cultivos y para todos los diferentes usos.

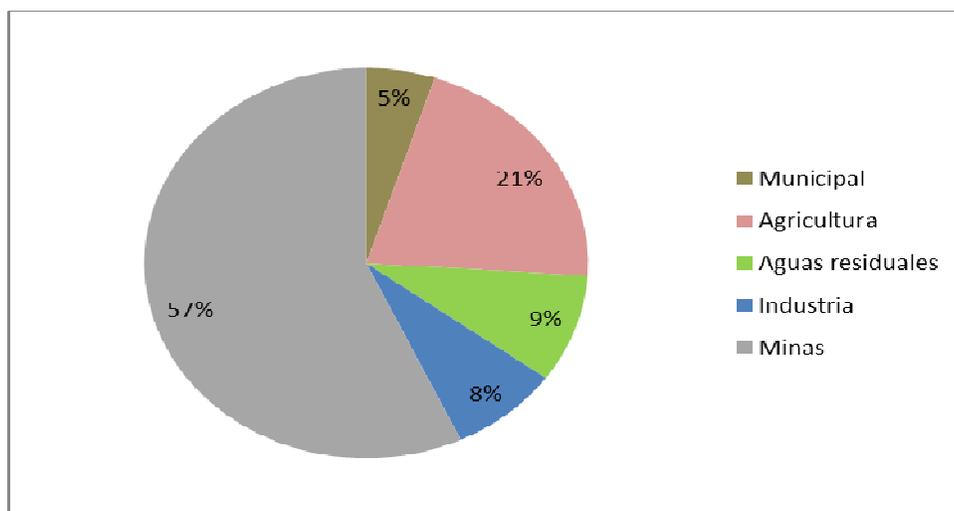
### **Fuentes Antropogénica**

Las actividades humanas han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en suelos, productos químicos agrícolas, lodos residuales actividades de minería y fundición. El proceso de minería implica: la extracción de las menas, el procesado preliminar, la evacuación de los residuos y transporte de los productos semi-procesados. Todas estas operaciones pueden producir una contaminación localizada de metales. El polvo originado puede ser depositado en los

suelos a muchos kilómetros de distancia. En áreas mineras, las capas superiores de suelos minerales presentan concentraciones elevadas de cobre, níquel, arsénico, selenio, hierro y cadmio.

Generación de electricidad y otras actividades industriales. La combustión de carbón es una de las principales fuentes de deposición de metales en suelos. Las centrales térmicas de combustión de petróleo pueden ser fuentes de plomo, níquel y vanadio. Las mayores fuentes industriales de metales incluyen fábricas de hierro y acero que emiten metales asociados con las menas de hierro, como el níquel. Las fábricas de baterías, pueden emitir cantidades considerables de plomo. Los metales asociados con áreas altamente industrializadas, incluyen arsénico, cadmio, cromo, hierro, níquel, plomo, zinc y mercurio.

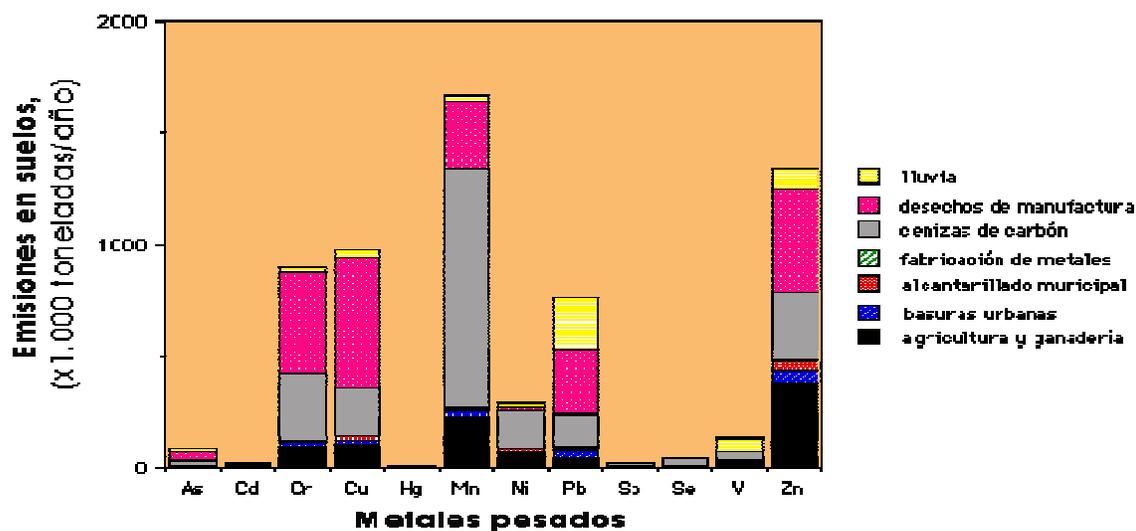
Residuos domésticos. Aproximadamente el 10% de la basura está compuesta de metales. Uno de los problemas más serios de las sociedades modernas es como deshacerse de este volumen de basuras. Las dos alternativas son enterrar o incinerar. El enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar algunos de los metales volátiles. Las cantidades producidas de residuos sólidos y semisólidos en los países desarrollados, se representan en porcentajes en la siguiente gráfica.



**Figura 3.- Principales fuentes antropogénicas generadoras de metales pesados.**

A excepción de pH ácidos, los metales son poco móviles en suelos y tienden a acumularse en la parte superficial, en el horizonte biológicamente más activo, lo que hace que los metales estén fácilmente accesibles para los vegetales.

La contaminación de metales pesados en suelos tiene orígenes muy diversos:



**Figura 4.- Factores del suelo que afectan su acumulación y disponibilidad.**

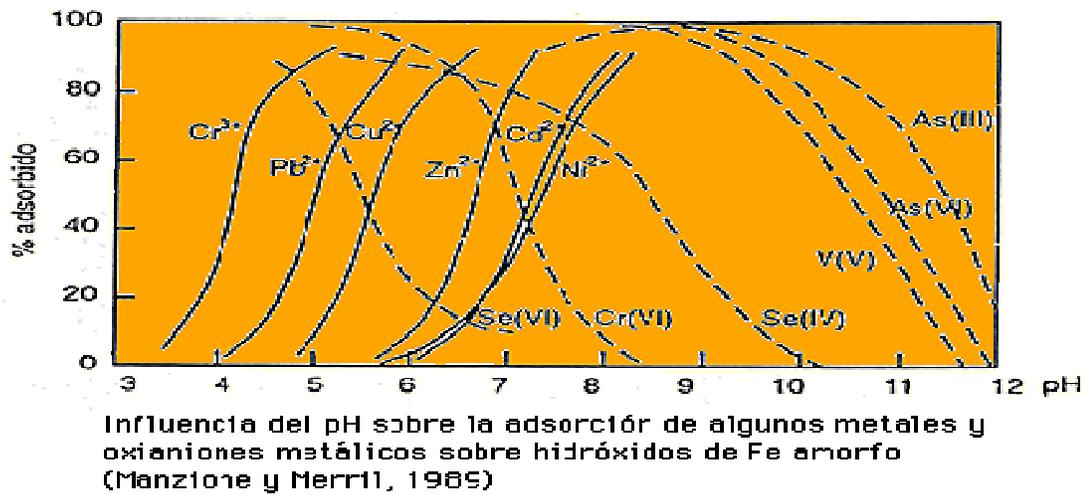
La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino que las características del suelo donde se encuentre van a ser decisivas. La sensibilidad de los suelos a la agresión de los agentes contaminantes va a ser muy distinto dependiendo de una serie de características edáficas.

El pH un factor esencial. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino.

El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos.

Por otra parte, algunos metales pueden estar en la disolución del suelo como aniones solubles. Tal es el caso de los siguientes metales: Se, V, As, Cr.

La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo (y por tanto, también su solubilidad).



**Figura 5.- Influencia del pH en la adsorción de algunos metales**

➤ **Textura.**

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.

➤ **Estructura.**

Favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo.

➤ **Mineralogía de las arcillas.**

Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales. La capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.

➤ **Materia Orgánica.**

Reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Los metales una vez que forman quelatos o complejos pueden migran con mayor facilidad a lo largo del perfil.

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu. El Pb y el Zn forman quelatos solubles muy estables.

La complejación por la materia orgánica del suelo es una de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilabilidad de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo.

➤ **Capacidad de cambio.**

Es función del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

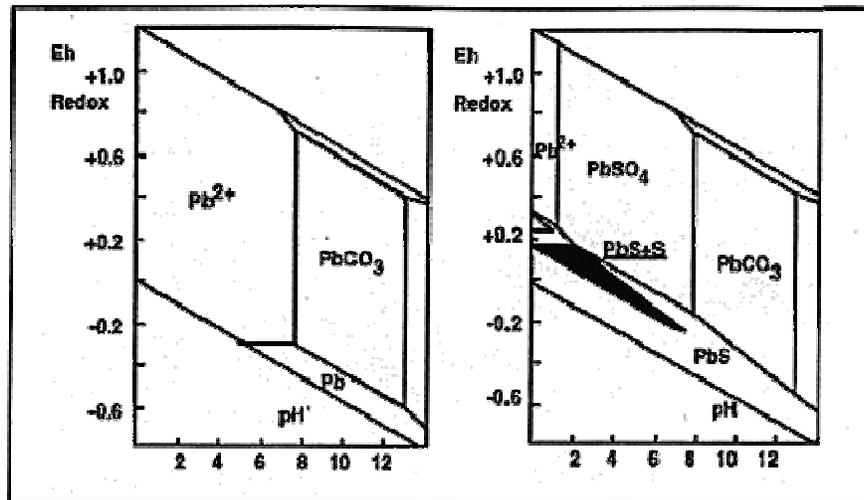
➤ **Condiciones Redox**

El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido. Los diagramas Eh-pH se utilizan para mostrar la estabilidad de compuestos de metales pesados y proporciona un método fácil para predecir el comportamiento de los metales pesados frente a un de cambio en las condiciones ambientales.

1) Cambio directo en la valencia de ciertos metales; por ejemplo, en condiciones reductoras el  $\text{Fe}^{3+}$  se transforma en  $\text{Fe}^{2+}$ , los iones reducidos son mucho más solubles.

2) En segundo lugar, las condiciones redox pueden afectar indirectamente la movilidad de metales. Así muchos metales están asociados o adsorbidos a hidróxidos de Fe y Mn, estos no son estables a Eh bajos y se convierten en FeS o  $\text{FeCO}_3$  dependiendo de las condiciones químicas, cuando esto ocurre los metales que estaban asociados con los hidróxidos de Fe y Mn se movilizan.

En ambientes muy reductores el Fe se puede combinar con el  $\text{S}^{2-}$  hasta convertirse en pirita. Cuando los suelos y sedimentos contienen cantidades significantes de pirita y aumenta el Eh (creación de condiciones más oxidantes) el  $\text{S}^{2-}$  se oxida a  $\text{SO}_4^{2-}$  liberando cantidades de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , el suelo se acidifica fuertemente y los metales se hacen muy solubles. Un interesante ejemplo lo representa el diagrama Eh-pH para el Pb que reproducimos en la siguiente figura.



The Eh-pH diagram for lead in a freshwater environment and for a marine environment.

Wim Salomons, 1993

**Figura 6.- Comportamiento del sulfuro de plomo en el agua en aumento del potencial redox.**

La fase estable dominante es  $\text{PbCO}_3$ , que se hace más inestable si las condiciones ambientales son más ácidas. El  $\text{PbCO}_3$  tiene un elevado producto de solubilidad y cuando este mineral se encuentra en aguas superficiales, se observan altas

concentraciones de Pb. Por otra parte, cuando el azufre es abundante se forman los compuestos indicados en el diagrama de la derecha. Bajo condiciones reductoras (bajo Eh) el PbS es la fase estable. El sulfuro de plomo se forma en estuarios y medios marinos donde los sulfatos se reducen a sulfuros que reaccionan con plomo para formar sulfuro de plomo (insoluble). Por tanto condiciones ambientales que provoquen un aumento del potencial redox, podrían originar la inestabilidad del sulfuro de plomo, con una subida de la concentración de plomo disuelto.

➤ **Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn**

Juegan un importante papel en la retención de los metales pesados. Tienen una alta capacidad de fijar a los metales pesados e inmovilizarlos. Además, estos compuestos se presentan finamente diseminados en la masa del suelo por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente Cu, Pb y en menor extensión Zn, Co, Cr, Mo y Ni.

➤ **Carbonatos**

La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, en los que como ya hemos visto tienden a precipitar los metales pesados. El Cd, y otros metales, presentan una marcada tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos.

➤ **Salinidad.**

El aumento en salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. Primeramente los cationes asociados con las sales (Na, K) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como Cd, Zn y Hg. Tienden a dar suelos de pH básicos.

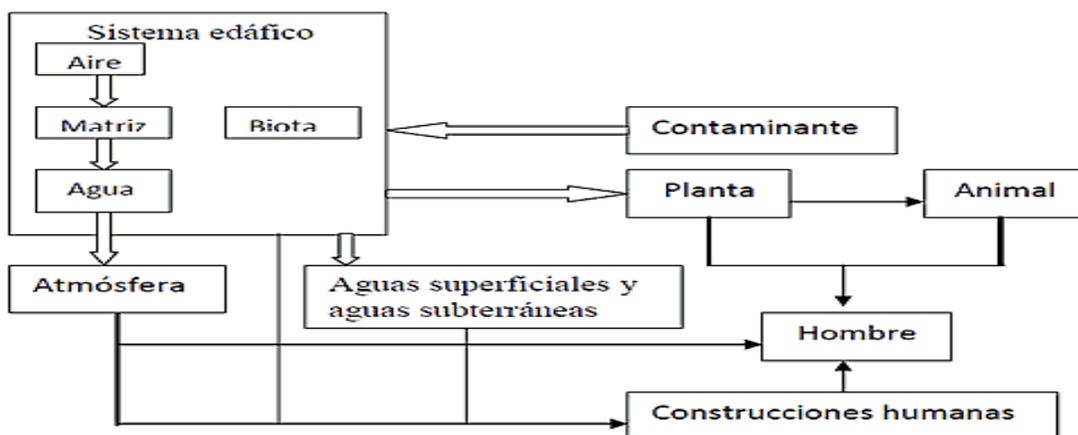
En definitiva, según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos. Al ir transcurriendo el tiempo disminuye la disponibilidad de los metales,

ya que se van fijando en las posiciones de adsorción más fuertes y también los geles van envejeciendo y se van volviendo más cristalinos.

En general se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Es por ello que la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial seguida de un drástico decrecimiento a los pocos centímetros de profundidad es un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica.

### Dinámica de los Contaminantes en el Suelo

El suelo se ha convertido en un medio receptor de multitud de sustancias potencialmente contaminantes. Su condición de interface entre la biosfera (biomasa terrestre, biomasa marina y hombre), la litosfera (corteza, suelo y sedimentos), la hidrosfera (agua dulce y agua de mar) y la atmósfera lo convierte en una “estación de tránsito” de los contaminantes, en la que pueden permanecer retenidos grandes períodos de tiempo (lo que aumenta la posibilidad de que puedan ser degradados y perder su naturaleza contaminante) o ser tan móviles que se incorporen a los demás medios y, de ahí, a las redes tróficas con los consecuentes problemas que ello acarrearía.



**Figura 7. La dinámica de los contaminantes en el suelo y las interacciones entre planta-animal-hombre-medioambiente son factores todos ellos a tener en cuenta a la hora de evitar problemas de contaminación.**

## **Comportamiento de los Metales en el sistema suelo-planta**

El sistema suelo-planta se considera un sistema abierto, que se encuentra sujeto a aportes, tales como contaminantes, fertilizantes y pesticidas, y también a pérdidas, mediante lixiviación, erosión o volatilización. La incorporación de los metales pesados por las plantas se produce fundamentalmente desde el suelo, a través de las raíces, y está influenciada por varios factores entre los que destacan el tipo de suelo, la temperatura, pH, aireación, condiciones redox y fertilización, la especie vegetal, el momento del desarrollo y el sistema radicular, entre otros. Aparte de la absorción que tiene lugar por medio de las raíces, las plantas también pueden incorporar cantidades significativas de algunos elementos a través de la absorción foliar. Una vez que los iones metálicos han sido absorbidos, pueden moverse por toda la planta. Este movimiento depende del tipo de metal, del órgano de la planta y de su edad. En general, la proporción en que los elementos son movilizados en el interior de las plantas disminuye conforme al siguiente orden: Cd>B>Zn>Cu>Pb.

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

1. Quedar retenidos en la solución del suelo o bien, fijados por adsorción, complejación y/o precipitación.
2. Ser absorbidos por las plantas e incorporarse a las cadenas tróficas.
3. Pasar a la atmósfera por volatilización.
4. Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

Cuando un contaminante se incorpora al suelo desencadenarse una serie de procesos físicos, químicos o biológicos que condicionan los efectos que éste puede causar no sólo sobre el sistema suelo sino también sobre el resto de compartimentos ambientales y, sobre la cadena trófica. Para valorar el impacto ambiental de la contaminación en el sistema suelo-planta se deben conocer las características del contaminante, del medio receptor y su entorno y, los modelos que rigen el comportamiento del contaminante y su transferencia a las plantas.

### **Umbrales de contaminación en edafología**

Las aportaciones de residuos de origen industrial, urbano o agrícola pueden ser optimizadas teniendo en cuenta que el suelo puede actuar como filtro y reactor mediante procesos físico-químicos y biológicos. Sin embargo, al considerar el suelo como receptor de residuos hay que reconocer que su capacidad de aceptación no es ilimitada. De forma que, las prácticas agrícolas habituales como la utilización agrícola de compost y lodos de depuradora, han determinado que en diferentes países como Holanda y determinados organismos oficiales, pusiesen a punto una legislación basada en valores de referencia máximos de contenido en metales pesados que podrían alcanzarse en los suelos, de modo que por encima de estos umbrales se puede considerar que existe contaminación.

Posteriormente a su puesta en funcionamiento, se puso de manifiesto que las normas basadas en umbrales o límites, independientemente del tipo de suelo, no son generalmente eficaces. Esto se debe a que la movilidad o biodisponibilidad de los elementos del suelo depende de sus características como, por ejemplo, el pH o la materia orgánica, así como de las condiciones climáticas. Por tanto, actualmente se admite la necesidad de tener en cuenta el tipo de suelo receptor o algunas de sus características para establecer umbrales de referencia en relación con la contaminación por sustancias como los metales pesados u otros compuestos de naturaleza inorgánica y orgánica. Como consecuencia, más recientemente, se ha establecido la necesidad de conocer los valores de fondo que son independientes de las prácticas agrícolas, por lo que se deben medir en suelos naturales.

### **Efectos Desfavorables de la Contaminación**

La contaminación puede definirse como el aporte de un elemento o de un compuesto químico desde el exterior del lugar, que provoca un aumento respecto a la concentración inicial, lo que produce efectos desfavorables, tanto por su acción desactivadora, como si provocan un aumento excesivo de la actividad. Los contaminantes provocan, por lo general, efectos negativos sobre el medio

ambiente que pueden actuar directa o indirectamente sobre el sistema suelo. A continuación, se describen algunos de los efectos de la contaminación.

### **Efectos directos sobre los suelos**

- Inhibición de la actividad enzimática de los mismos debido a la destrucción del poder de autodepuración por procesos de regeneración biológica normales, al haberse superado la capacidad de aceptación del suelo. Se ve afectado el ciclo biogeoquímico y la función de biofiltro.
- Disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento normal de las poblaciones de microorganismos y la fauna del suelo o bien, alteración de su diversidad, lo que aumenta la fragilidad del sistema.
- Disminución del rendimiento de las cosechas.
- Cambios en la composición de los productos, con riesgo para la salud de los consumidores, al entrar determinados elementos en la cadena trófica.

### **Efectos indirectos sobre los suelos**

- La contaminación de las aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencia. Se alcanzan concentraciones superiores a las consideradas aceptables.
- Variación de la disponibilidad de elementos a largo plazo en los suelos, como consecuencia de cambios en las propiedades físico-químicas de los mismos.
- Reducción de la fertilidad del suelo, al disminuir la flora y fauna del mismo.
- Modificación de la estructura del suelo debido a la pérdida de fertilidad del mismo.

### **Arsénico (As)**

Se descubrió en el siglo XIII por Alberto Magno, de nacionalidad Alemana. En la clasificación de los elementos por su abundancia en la corteza terrestre figura en el puesto 52°. En los medios acuáticos, el arsénico existe principalmente en la forma de arseniuros y arseniatos. En los sedimentos y los suelos, los arseniatos son rápidamente absorbidos en forma de hierro o de hidróxido de aluminio, lo que reduce

su capacidad y velocidad de percolación así como su disponibilidad para los sistemas biológicos (Trimble *et al.*, 1999 y García-Rico *et al.*, 2004). En las fases acuosas, el arsénico forma precipitados insolubles con un cierto número de elementos (Ca, S, Ba, Al, Fe), lo que resulta en la eliminación de los compuestos de arsénico del agua. En los micro-organismos, las plantas y los animales, existe metilación y reducción de los compuestos del arsénico.

Esto favorece la producción de un cierto número de compuestos del arsénico, que son estables físico-química y biológicamente (Boyle *et al.*, 1998; EQ, 2007).

### **Propiedades**

Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico, 33. Se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (ubicuo) aunque en menor proporción de manera pura, la mayor parte se encuentra formando minerales como piritas arsenicales (FeAsS), realgar ( $As_2S_2$ ), oropimente ( $As_2S_3$ ), arsenolita ( $As_2O_3$ ) y cobaltina (SAsCo), se encuentra a veces sustituyendo al azufre en los minerales sulfurados de muchos de los metales pesados; el peso atómico es de 74.922 g/mol; tiene valencias de +3, -3, y -5; sus estados de oxidación es -3, +2, +3 y +5; con una densidad de 5780 kg/m<sup>3</sup>; su punto de ebullición es de 613 °C; su punto de fusión es de 817 °C, y su estructura forma un sistema romboédrico, en el cual ningún ángulo es recto (Fox y Doner, 2003 y EQ, 2007).

Se presenta en varias formas alotrópicas de las cuales las más importantes son el arsénico gris, de aspecto metálico, blando, frágil y buen conductor del calor, con un peso específico de 5,7 y el arsénico amarillo, no metálico, de peso específico 2,0. Cuando se calienta, sublima, pasando directamente de sólido a vapor a 613 °C. El vapor de arsénico está constituido por moléculas tetratómicas ( $As_4$ ) que se disocian en moléculas diatómicas ( $As_2$ ) a temperaturas superiores a los 800 °C (WIKIPEDIA, 2007a).

## **Usos**

El arsénico se agrega para endurecer el plomo, en la fabricación de perdigones y se usa en la industria del vidrio para eliminar el color verde que producen las impurezas de los compuestos de hierro; hasta el descubrimiento de la penicilina era de gran importancia en el tratamiento de algunas enfermedades como la sífilis; el arseniato de plomo y el arseniato de calcio se usan como insecticidas; el arseniuro de galio (GaAs), se usa en semiconductores y para la preparación de láseres; el disulfuro de arsénico ( $As_2 S_2$ ), conocido como rojo oropimente o arsénico rubí, se usa como pigmento en la fabricación de fuegos de artificio y pinturas. (Valdéz-Perezgasga y Cabrera-Morales, 1999).

## **Efectos en la Salud**

El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular; está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel, de esófago, laringe, pulmón y de vejiga, provoca bronquitis, hepatotoxicidad y enfermedades vasculares. La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta (Paniagua-Contreras *et al.*, 2003). Los síntomas de la intoxicación por arsénico incluyen fatiga, dolores musculares, pérdida del cabello, zumbido de los oídos, cicatrización difícil, depresión, laxitud, alucinaciones visuales y disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos. La intoxicación crónica puede causar la muerte (Schmidt, 2003). Para protegerse de los daños se pueden tomar dosis de yodo orgánico, megadosis de vitamina C y comer diversos germinados (Valdéz-Perezgasga y Cabrera-Morales, 1999).

## **Fuentes**

Las fuentes principales de la contaminación arsenical son las fundidoras, el agua de ciertas regiones, el humo de tabaco, algunos plaguicidas, los huevos de gallinas criadas en régimen industrial (se les da arsénico para combatir los parásitos) y los mariscos (Valdéz-Perezgasga y Cabrera-Morales, 1999).

## **Cadmio (Cd)**

Fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer (WINKIPEDIA, 2007b). El consumo y contaminación del cadmio aumentó marcada y progresivamente a partir de 1900. Es extremadamente tóxico y muy dañino para el ambiente, por lo que sus residuos deben ser tratados de manera conveniente, su presencia ha sido de preocupación para ecologistas, agencias estatales y médicos de la salud (Awofolu *et al.*, 2005). En la unión europea, las concentraciones máximas del cadmio (Cd) permitido en varias cosechas agrícolas fueron decretados recientemente en ley (Schmidt, 2003).

El cadmio está presente en suelos contaminados, en algunas tuberías antiguas, en algunas pinturas (sobre todo de color rojo, amarillo y naranja) y en algunos plásticos. El cadmio puede ser adquirido por comer polvo contaminado, por el uso de utensilios de plástico en la alimentación, por inhalar humo de tabaco y por ingerir agua contaminada (Valdez-Perezgasga y Cabrera- Morelos, 1999).

## **Propiedades**

Elemento químico, cuyo símbolo es Cd; y su número atómico, 48; relativamente poco abundante; es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado; peso atómico de 112.40 g/mol y densidad relativa de 8.65 g/mol a 20 °C; su punto de fusión de 320.9 °C y de ebullición de 765 °C; es divalente en todos sus compuestos estables, su ion es incoloro y su estado de oxidación es +2 (Lentech, 2007).

## **Usos**

- Aproximadamente tres cuartas partes del cadmio producido se emplea en la fabricación de baterías. Especialmente en las baterías de níquel-cadmio.
- Una parte importante se emplea en galvanoplastia (como recubrimiento).
- Algunas sales se emplean como pigmentos. Por ejemplo, el sulfuro de cadmio se emplea como pigmento amarillo.
- Se emplea en algunas aleaciones de bajo punto de fusión.

- Debido a su bajo coeficiente de fricción y muy buena resistencia a la fatiga, se emplea en aleaciones para cojinetes.
- Muchos tipos de soldaduras contienen este metal.
- En barras de control en fisión nuclear.
- Algunos compuestos fosforescentes de cadmio se emplean en televisores.
- Se emplea en algunos semiconductores.
- Algunos compuestos de cadmio se emplean como estabilizantes de plásticos como el PVC (WIKIPEDIA, 2007b).

### **Efectos en la Salud**

El cuerpo humano no necesita cadmio en ninguna forma. El cadmio es dañino en dosis muy pequeñas. El envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías retraso en la habilidad verbal de los niños, nefrotoxicidad, infertilidad, alteraciones neurológicas y enfermedades vasculares; El cadmio es mutagénico y probablemente actúa por medio de mecanismos indirectos (Paniagua-Contreras *et al.*, 2003; Schmidt, 2003; Awofolu *et al.*, 2005; Navarro, 2006).

Las medidas preventivas contra el envenenamiento por cadmio giran en torno a evitar su ingesta. Incrementar los hábitos de higiene en las zonas donde exista este metal en el polvo; no fumar; beber preferentemente agua purificada y usarla para cocinar y lavarse los dientes; no usar utensilios de plástico para preparar, guardar o servir alimentos; evitar que los niños mordisqueen juguetes de plástico, bolígrafos, etc.; evitar los mariscos y las vísceras pues acumulan el cadmio y también ayuda tomar megadosis de vitamina C (varios gramos al día); tomar alimentos ricos en bioflavonoides (centeno germinado, polen de abeja, por ejemplo); tomar levadura de cerveza que contiene el complejo B y selenio (Valdez-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 1999). La dosis tolerable de cadmio propuesta por la Organización Mundial de la Salud es de 400 a 500 mg por semana para un adulto normal (Galván-Bobadilla, 2005).

## **Fuentes**

La principal fuente de exposición al cadmio para la población general está constituida por el lugar de trabajo (industrias de cadmio), el ambiente (humo de tabaco, contaminación aérea y agua) y la ingesta de alimentos que representa aproximadamente 70% de todo el cadmio acumulado por el organismo (Valdez-Perezgasga y Cabrera- Morelos, 1999).

Las fuentes del Cd incluyen basuras de las baterías, de los incineradores y de la salida de los suelos agrícolas donde se utilizan los fertilizantes del fosfato puesto que el Cd es una impureza común en fertilizantes del fosfato (Awofolu *et al.*, 2005).

## **Cobre**

El cobre, es requerido para algunas actividades metabólicas en organismos (Awofolu *et al.*, 2005). El cobre se supone agente contaminador de ecosistemas acuáticos debido a su persistencia, toxicidad y capacidad ambiental de ser incorporado en cadenas de alimentos (Nars *et al.*, 2006). Entre los contaminantes lanzados por la combustión del carbón están los metales traza como el cobre (Donahue *et al.*, 2006). Ciertos metales tales como Cu se clasifican como esenciales para la vida debido a su implicación en ciertos procesos fisiológicos. Los niveles elevados de éstos, sin embargo, se han encontrado tóxicos (Awofolu *et al.*, 2005).

## **Propiedades**

Elemento de símbolo Cu, es uno de los metales de mayor uso, de apariencia metálica y color pardo rojizo. El cobre es uno de los elementos de transición de la tabla periódica, y su número atómico es 29. El cobre puede encontrarse en estado puro. Su punto de fusión es de 1083 °C, mientras que su punto de ebullición es de unos 2595 °C, y tiene una densidad de 8,9 g/cm<sup>3</sup>. Su masa atómica es 63,546. Elevada conductividad del calor y electricidad, la resistencia a la corrosión, así como su maleabilidad y ductilidad. Su estado de oxidación es de +2 y +1 (Ozuna, 2007).

## Usos

Los usos del cobre, tanto industriales como domésticos, están condicionados por algunas de sus propiedades:

- Su elevada conductividad eléctrica permite su empleo en aplicaciones eléctricas: cables, hilos, piezas varias de aparatos eléctricos, etc.
- Su elevada conductividad térmica, siendo el segundo mejor, después de la plata, conduciendo el calor y la electricidad, permite su utilización en utensilios domésticos (cacerolas, calderos), en la industria de la alimentación y química (alambiques) y en las aplicaciones de equipos térmicos (intercambiadores, depósitos, refrigeradores, radiadores).
- La facilidad con que se trabaja lo hace muy buscado, tanto para embutición como para la unión por autosoldadura o por soldadura con estaño.
- Su resistencia a la corrosión atmosférica normal, debida a la formación de una capa protectora impermeable a base de carbonato básico de cobre (cardenillo) hace que se utilice para recubrimientos de techumbres o en canalizaciones de agua.
- El cobre también es utilizado en compuestos destinados a la agricultura (Fungicidas).
- En el caso de las telecomunicaciones es la materia prima más común en la fabricación de cables telefónicos, y el desarrollo de nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia en la transmisión de datos (Wong, 2006; Capone 1983).

## Efectos en la Salud

El cuerpo requiere cobre como nutriente esencial y diariamente necesita que en la dieta alimenticia exista entre 1 y 2 miligramos en el caso de los adultos y entre 1/2 y 1 miligramo en el caso de los niños. Como parte integrante de numerosas enzimas, el cobre es un elemento traza esencial. La intoxicación se produce fundamentalmente por inhalación de polvos y "humos" de cobre, los cuales produce

hemorragia nasal y de las mucosas, pudiendo conducir a la perforación del tabique nasal. Los niños menores están mucho más expuestos (peligro de muerte) cuando hay un alto contenido de cobre en el agua potable. La muerte se presenta por cirrosis hepática (Awofolu, 2005).

Las concentraciones de cobre son mayores en el hígado, cerebro, corazón y riñones. Se observan concentraciones de cobre elevadas en los pacientes con infecciones agudas o crónicas, enfermedades hepáticas y la pelagra. Además, cualquier enfermedad que interfiera con la eliminación biliar puede ocasionar un aumento de las concentraciones hepáticas de cobre. La deficiencia de cobre se caracteriza por anemia, neutropenia y anormalidades esqueléticas, especialmente la desmineralización. Otras alteraciones que siguen son hemorragias subperiósteas, despigmentación de la piel y de los cabellos y formación defectuosa de la elastina.

En los niños con deficiencia de cobre, el síntoma más relevante es la anemia. Algunas enfermedades de por deficiencia de cobre o por alteraciones de su metabolismo son: Enfermedad de Menkes, cirrosis infantil de los hindúes, toxicosis idiopática por cobre y Enfermedad de Wilson (Petrik, 2007). El Cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de Cobre proporcionalmente altas, mucho cobre puede también causar problemas de salud. Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el Cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún. Hay artículos científicos que indican una unión entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de Cobre y una disminución de la inteligencia en adolescentes (Lentech, 2007).

### **Fuentes**

El Cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de aceite. El Cobre es una substancia muy común que ocurre

naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el Cobre. Por ejemplo este es aplicado en industrias y en agricultura. La producción de Cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de Cobre en el ambiente se ha expandido. el Cobre es liberado en sus aguas a través de la corrosión de las tuberías (Nars *et al.*, 2006; Ozuna, 2007).

### **Plomo (Pb)**

El plomo es un metal pesado, azuloso, 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 azuloso, 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, sobretodo 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 ( $\mu\text{g/dL}$ ) 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 descascaramiento 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).

### **Zinc (Zn)**

El zinc es un elemento traza colocado en el grupo IIB de la tabla periódica de los elementos. Generalmente el zinc se extrae de minas de profundidad (Atlas de Productos Básicos, 2004). El zinc se mira como agente contaminador de ecosistemas acuáticos debido a su persistencia, toxicidad y capacidad ambiental de ser incorporado en cadenas de alimentos (Nars *et al.*, 2006).

### **Propiedades**

El zinc puro es un metal cristalino, insoluble en agua caliente y fría, y soluble en alcohol, en los ácidos y en los álcalis. Es extremadamente frágil a temperaturas ordinarias, pero se vuelve maleable entre los 120 y los 150 °C, y se lamina fácilmente al pasarlo entre rodillos calientes. No es atacado por el aire seco, pero en aire

húmedo se oxida, cubriéndose con una película carbonada que lo protege de una posterior corrosión. Tiene un punto de fusión de 420 °C, un punto de ebullición de 907 °C y una densidad relativa de 7,14. Su masa atómica es 65,38. Ocupa el lugar 24 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. No existe libre en la naturaleza, sino que se encuentra como óxido de zinc (ZnO) en el mineral cincita y como silicato de zinc ( $2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) en la hemimorfita. También se encuentra como carbonato de zinc ( $\text{ZnCO}_3$ ) en el mineral esmitsonita, como óxido mixto de hierro y zinc ( $\text{Zn}(\text{FeO}_2)\text{O}_2$ ) en la franklinita, y como sulfuro de zinc (ZnS) en la esfalerita, o blenda de zinc (Valdez-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 1999).

### **Usos**

El zinc se usa para techados, canalones y cornisas, también se emplea para hacer objetos moldeados, planchas para fabricar recipientes y hacer fotograbados. El hierro se protege de la corrosión mediante el recubrimiento de zinc, así mismo se utiliza en las pilas eléctricas como ánodo, en las pilas de zinc-plata-oxígeno usadas en los misiles y las cápsulas espaciales y en baterías zinc-aire para ordenadores portátiles. El metal también forma aleaciones como el latón (cobre-zinc) y la plata alemana. Los compuestos de zinc y su polvo son usados principalmente en la agricultura, pintura e industria de caucho (Sánchez-Albavera y Lardé, 2006).

### **Efectos en la Salud**

Aunque muchos metales son biológicamente esenciales en cantidades traza como el zinc, las cantidades excesivas pueden interferir con procesos fisiológicos (Giddings *et al.*, 2001). Aunque se ha encontrado que el Zn tiene baja toxicidad, el consumo prolongado de dosis grandes puede dar lugar a algunas complicaciones de la salud tales como fatiga, vértigos y neutropenia. Algunas fuentes literarias también han revelado que el Zn podría ser tóxico a algunos organismos acuáticos tales como pescados. (Schmidt, 2003 y Awofolu *et al.*, 2004).

La ruta más común de exposición al Zinc es mediante la dieta. La vida media del Zinc excede a 300 días y de 70-80% es excretado en heces. Estudios con cadmio y zinc

sugieren que el zinc previene los efectos tóxicos del cadmio. Por lo que el zinc participa en la prevención del cáncer por reducción de los efectos carcinogénicos del cadmio (Galván-Bobadilla *et al.*, 2005). En contraposición Navarro (2006) difiere afirmando que si bien el zinc no es altamente tóxico, por considerarse un elemento esencial para animales y humanos y por ser necesario para el regular funcionamiento de sistemas enzimáticos, se han encontrado efectos adversos en la morfología de peces expuestos a concentraciones de zinc por encima de los valores recomendados, así como efectos carcinogénicos en humanos que han consumido grandes cantidades de zinc.

En el organismo se encuentran presentes aproximadamente entre 2 y 3 gramos de este micromineral, que es participe en el funcionamiento de 70 enzimas, entre las cuales podemos nombrar las del metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas, en la síntesis de la insulina, el ARN, el ADN, y algunas otras. Cumple también funciones aliviando alergias, aumenta la inmunidad natural contra infecciones bacterianas. Su presencia se concentra en testículos, cabello, uñas, hueso y tejidos pigmentados del ojo. Su fuente principal está en la carne, el pescado, los lácteos, la yema de huevo, las legumbres secas y los cereales integrales. Los niveles de zinc en el organismo se suelen ver disminuidos por consumo de tabaco, café y el alcohol en exceso. Los síntomas más comunes de la carencia de zinc suelen ser los problemas de próstata en hombres mayores a 45 años, las irregularidades menstruales, el retraso en el crecimiento, la pérdida de gusto, cicatrización defectuosa, pérdida de agudez olfativa, dificultades para la erección, retraso de crecimiento uterino y anemia. La necesidad diaria es de aproximadamente 2,2 mg/día (Licata, 2007).

### **Fuentes**

Todo el mundo está expuesto al zinc en los alimentos como en las hortalizas carne, pescado y aves de corral. El agua potable u otras bebidas pueden contener altos niveles de zinc si se mantienen en envases metálicos o fluyen a través de cañerías que han sido revestidas con zinc para evitar la corrosión. Los niveles de zinc en el aire son relativamente bajos y constantes y el aire cerca de áreas industriales puede

tener niveles de zinc más altos.

Entre las ocupaciones en las que ocurre exposición al zinc están la minería, fundición de minerales, soldadura de metales, manufactura de latón, bronce u otras aleaciones que contienen zinc; manufactura de metales galvanizados; y manufactura de partes de máquinas, caucho, pintura, linóleo, paños para remover aceite, baterías y ciertos tipos de vidrios, cerámicas y tinturas. Las personas que trabajan en la construcción, mecánicos de automóviles y pintores también están expuestos al zinc (ATSDR, 2005).

## **Contaminación de Suelo, Agua y Sedimento con Metales Pesados**

### **Suelo**

Los metales pesados y elementos traza de importancia en el medio ambiente por su trascendencia en la contaminación de suelos, pueden ser de naturaleza geológica (origen natural) ó antropogénica. Se habla de origen natural cuando los contenidos de metales se atribuyen a la composición de los distintos elementos minerales presentes en el suelo. Los metales son de origen antrópico cuando sus concentraciones son mayores a las correspondientes a su composición geoquímica y son el resultado de las actividades del hombre por actividades industrial, minera y agrícola (Trimble *et al.*, 1999; Alonso-Martínez & García-Martiricorena, 2001; Carrasco, 2005). La actividad industrial puede contaminar el suelo vía aérea, a través de la depositación de material particulado y emisiones gaseosas, como ocurre con las fundiciones y el transporte.

También puede contaminar a través de aguas residuales como ocurre con la minería del cobre, industria automotriz, curtiembre, industria de la celulosa, galvanoplastia y otras (Carrasco, 2005). Entre las actividades industriales más contaminantes se encuentran: Producción de electricidad con carbones o derivados del petróleo, Hornos y calderas industriales (Alonso-Martínez y García-Martiricorena, 2001).

El suelo es alterado como resultado de las actividades mineras. Una de las anomalías biogeoquímicas que se generan al momento de la extracción, es el

aumento de la cantidad de microelementos en el suelo convirtiéndolos a niveles de macroelementos los cuales afectan negativamente la biota y calidad de suelo; estos afectan el número, diversidad y actividad de los organismos del suelo, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica del suelo. Los jales son tóxicos para los organismos vivos y son inhibidores de factores ecológicos afectando el crecimiento de las plantas. Los suelos que quedan tras una explotación minera contienen todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes: clase textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos (Puga *et al.*, 2006 y Cobelo-García *et al.*, 2005).

La agricultura intensiva es una de las actividades humanas que tienen mayor repercusión en la contaminación del suelo por metales pesados, debido al empleo de fertilizantes y plaguicidas de forma prolongada. Los fertilizantes fosforados pueden contener Zn, As, Cd y Pb debido a su presencia en la roca fosfórica. El uso de ciertos plaguicidas han contribuido a aumentar los niveles de As, Pb, Hg, Cu, algunos poseen concentraciones de Zn que pueden superar el 25%. También pueden estar presentes en estiércoles de animales debido al uso de ciertos compuestos a base de dichos elementos en la dieta del animal para evitar ciertas enfermedades. De especial relevancia es el Cu en el purín de cerdo que limita su utilización.

También se encuentran presentes en productos desinfectantes utilizados en las instalaciones, y pueden proceder de la maquinaria agrícola utilizada. Todo ello llevó a fijar las concentraciones máximas de metales pesados en fertilizantes y productos afines como compost (Capone *et al.*, 1983 y Bernal-Calderón, 2003).

Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el mismo, la distribución de los metales pesados en los

perfiles del suelo, así como su disponibilidad está controlada por parámetros como propiedades intrínsecas del metal y características de los suelos. Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda. Excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos. Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión y la deflación (Schmidt, 2003). Puga *et al.* (2006), realizaron un estudio en San Francisco del Oro, Chihuahua, México lugar en el que se localiza el área de influencia de la presa de Jales la cual es un área de confinamiento de los desechos de la industria minera que tiene como referencia la extracción minera que data del año 1600, provocando disturbios al medioambiente y generando suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de vegetación y riesgo a la salud. Se evaluó la contaminación del suelo por plomo, cadmio, zinc y arsénico a diferentes distancias y niveles de profundidad y se determinó la relación con sus características físico-químicas. Los resultados muestran que la mayor concentración se da en sitios cercanos a los jales, disminuyendo la concentración a medida que se aleja de ellos. Todos los elementos sobrepasan los rangos establecidos por las agencias internacionales. El Arsénico se asoció con distancia a la fuente, textura y materia orgánica; el Plomo con la distancia a la fuente y textura; el Cinc con distancia a la fuente y el Cadmio con la distancia a la fuente, pH y profundidad de suelo.

## Agua

Sabemos que las actividades humanas producen desechos que en muchas ocasiones se transforman en contaminantes del agua. Esta contaminación puede ser definida como la alteración de las características físicas, químicas o biológicas del agua, de manera que ésta deja de ser adecuada para uno o más usos específicos (Abeliuk, 2007).

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, las basuras producidas por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. Metales pesados, se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida. La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas. Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de contaminación, excepto en algunos lugares muy concretos.

La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas y, es mucho más peligrosa que la natural. Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica (Nars *et al.*, 2006; Abeliuk, 2007).

- **Industria.** Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen

contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos, de las cuales se pueden mencionar la industria de la construcción, minería, energía, textil y piel, automoción, navales, siderurgia, química inorgánica, química orgánica, fertilizantes, pasta, papel, plaguicidas, fibras químicas, pinturas, barnices y tintas.

- Vertidos urbanos. La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (Plomo y otros metales).
- Navegación. Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos.
- Agricultura y ganadería. Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas (Abeliuk, 2007).

Al contrario que muchos contaminantes orgánicos los metales pesados, generalmente no se eliminan de los sistemas acuáticos, por procesos naturales debido a que no son biodegradables. Por el contrario son muy contaminantes y sufren un ciclo global eco-biológico donde las aguas naturales son el principal camino. Hoy en día los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de todo flujo de agua debido a su toxicidad y muy especialmente al comportamiento bioacumulativo. Asimismo tienen tendencia a formar asociaciones con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, etc. por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en el sedimento de los ríos, lagos y mares (Buykx *et al.*, 2002; Nars *et al.*, 2006).

Obasohan *et al.* (2007), realizaron una investigación en el Río Ikpoba en Benin, ciudad capital del estado de Nigeria, donde se localiza el país más popular de África y en el que se ubican los sectores agrícola e industrial de mayor importancia y productivos, solo un 70% de las industrias fabriles está situado cerca de las aguas

superficiales costeras e interiores. En el Río Ikpoba se realizaron análisis para determinar la presencia de metales pesados, debido a la preocupación de las comunidades aledañas que utilizan el recurso para riego agrícola y consumo humano así como para actividades de pesca y la acuicultura. En las determinaciones se encontraron niveles no aceptables de metales, como Cu, Zn, Cr, Ni y Pb, de los que se sabe ocasionan daños a la salud en los humanos y son transportados a través de la cadena alimenticia. Por lo que se atribuye a la industria y sector agrícola la presencia de dichos elementos. Además en África, la carencia de datos científicos y ecotoxicológicos eficaces para el control y la prevención de la contaminación acuática se ha reconocido y se ha destacado pues la información existente sobre los niveles de la contaminación de metal pesado es dispersada y escasa.

### **Sedimentos**

Los sedimentos son parte integral e inseparable de los ecosistemas fluviales y demás sistemas acuáticos (Giddings *et al.*, 2001). En el proceso de formación de sedimentos intervienen diferentes elementos que pueden producir, aumentar o reducir la cantidad de sedimentos en suspensión y acarreo transportados por las corrientes. La acción de esos elementos se desarrolla en forma individual o combinada. Los Factores de influencia para la formación de sedimento son: Suelos, relieve, intensidad y cantidad de precipitaciones, escurrimiento fluvial, vegetación, erosión, uso de la tierra (Control de erosión, reforestación, agricultura, desarrollo hidráulico y urbanización) (Bautista-Silva, 2004).

Los sedimentos son considerados como un resumidero de una gran cantidad de sustancias y elementos químicos de origen natural o generados por diferentes actividades antrópicas (Sowder *et al.*, 2003; González, *et al.*, 2004; Casey, *et al.*, 2006), sirven como filtro entre la tierra y el mar para muchos contaminantes y no solo acumulan metales si no que también actúan como una fuente de contaminantes para la biota (Sowder *et al.*, 2003; Marín-Guirao *et al.*, 2005). La presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos, es un hecho constatado a nivel mundial (Gillan *et al.*, 2005) sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. La

presencia de estos sedimentos es debido tanto a los vertidos incontrolados desde industrias como a la utilización de productos químicos tales como los pesticidas que van a parar a los sedimentos una vez que son transportados desde zonas agrícolas por las aguas.

En otros casos estos son debidos a los vertidos "controlados" tales como emisores submarinos que vierten aguas residuales principalmente domésticas, aumentando la carga contaminante y el nivel de toxicidad. Los tóxicos que entran a las aguas a través de fuentes municipales, agrícolas e industriales pueden permanecer suspendidos en la columna de agua, ser incorporados a la biota acuática o depositados sobre el fondo e incorporarse en los sedimentos. Algunos de estos contaminantes son muy persistentes, mientras que otros son más susceptibles a transformaciones físicas, químicas o biológicas (Sowder *et al.*, 2003, García-Rico *et al.*, 2004; González-Lozano *et al.*, 2006; Donahue *et al.*, 2006). Los metales pesados tienen tendencias a formar asociaciones con sustancias minerales (Carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, etc. por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares (Rae y Allen, 1993; Cummings *et al.*, 2000; Gillan, 2005).

Estos elementos por otra parte, pueden pasar fácilmente de fase sólida y líquida de los sistemas acuáticos y viceversa, debido tanto a variaciones de los componentes bióticos como abióticos, lo que hace que los sedimentos no sean compartimentos estancos de metales. Pueden solubilizarse por distintos fenómenos (Generalmente en formas químicas diferentes) y así son directamente incorporados por el hombre, o bien llegan indirectamente hasta él a través de la cadena trófica (Vandecasteele *et al.*, 2005; Monteiro y Roychoudhury, 2005).

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación, los metales son susceptibles o no de solubilizarse durante las

modificaciones físico-químicas estacionales (estiaje, crecida, etc.). La desoxigenación de las capas profundas durante el verano, ocasiona la reducción química de los óxidos asociados a la fase sólida, produciendo así, la disminución de la concentración de hierro y manganeso en el sedimento. La reducción de estos dos elementos puede ocasionar la solubilización de ciertos metales adsorbidos en el sedimento como el zinc, cromo y níquel (Cummings *et al.*, 2000; Vandecasteele, 2005). Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como el pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Luque *et al.*, 2000; Linge y Oldham, 2002). El análisis de metales pesados en sedimentos nos permite detectar la contaminación que puede escapar al análisis de las aguas y también proporciona información acerca de las zonas críticas del sistema acuático.

De la concentración total del metal, sólo ciertas formas químicas son tóxicas para los organismos, estas incluyen iones libres y metales liposolubles. En consecuencia, el estudio de la fracción biodisponible o móvil de los metales ligados a los sedimentos es más importante que la concentración total del metal en las corrientes fluviales (Rae y Allen, 1993; Cobelo-García *et al.*, 2005).

La influencia humana en el ciclo de la sedimentación de las partículas en suspensión es muy notable desde el comienzo de la revolución industrial. La suspensión es la forma de transporte más importante de las partículas que están presentes en los sedimentos. La concentración de metales pesados en los sedimentos no sólo depende de fuentes antropogénicas y litogénicas, sino también de las características texturales, contenido de materia orgánica, composición mineralógica y ambiente deposicional de los sedimentos.

En general los metales pesados están asociados con las partículas pequeñas de estos materiales. Esta tendencia es atribuida predominantemente a la adsorción, co-precipitación y complejación de metales en las capas superficiales de la

partícula. Como es conocido las pequeñas partículas tienen elevada área superficial con relación a su volumen y por consiguiente pueden retener altas concentraciones de metales. El área superficial específica de los sedimentos es dependiente de los parámetros granulométricos y la composición mineral. Por ello muestras de sedimentos tomadas en puntos muy próximos, pueden presentar contenidos en metales muy diferentes, siendo la textura del sedimento la principal responsable de tales discrepancias. En limos y en las fracciones finas de arenas las concentraciones de metales generalmente disminuyen, al igual que la fracción denominada como componentes de cuarzo (Linge y Oldham, 2002).

El tamaño de la granulometría de los sedimentos juega un papel importante en la distribución de los metales pesados. Varios autores admiten que para poder comparar las concentraciones de metales pesados de distintas muestras, es preciso aplicar métodos de corrección que minimicen los efectos asociados a la granulometría de los sedimentos (Boyle *et al.*, 1998). La técnica de corrección más frecuentemente empleada consiste en, tras la separación mecánica, analizar sólo la fracción del sedimento con un tamaño inferior a un determinado valor. Entre las fracciones que se pueden separar para realizar los análisis la mayoría de autores recomiendan analizar la porción  $< 63 \mu\text{m}$  por las siguientes razones:

- Los metales traza de origen antropogénico, se encuentran principalmente asociados a estas partículas.
- Existe una elevada relación entre los contenidos de elementos determinados en esta fracción y los que se encuentran en suspensión.
- La técnica de tamizado empleada para separar esta fracción, no altera las concentraciones de metales de las muestras además, es rápida y sencilla.
- Son numerosos los estudios de metales pesados en sedimentos realizados en la fracción  $< 63 \mu\text{m}$ , lo que permite una mejor comparación de los resultados obtenidos (Sowder *et al.*, 2003).

Los aminoácidos, que aparecen en elevadas concentraciones, tanto en solución como precipitados en sedimentos de aguas contaminadas, pueden adsorber o liberar cationes metálicos, debido a su carácter anfótero. Los sedimentos están sometidos a unas condiciones redox determinadas que pueden afectar el estado de algunos elementos tales como C, Ni, O, S, Fe, Ag, As, Cr, Hg y Pb. Así cuando los sulfatos se reducen a sulfuros la tendencia es producir la precipitación de los metales ( $\text{FeS}_2$ ,  $\text{HgS}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{MnS}$  y  $\text{ZnS}$ ). El potencial redox puede influir en los procesos de adsorción, incluso al propio contaminante (Billon *et al.*, 2001; García-Rico *et al.*, 2004).

Los minerales de arcillas y los hidróxidos de metales existentes en los sedimentos de los cursos de agua pueden influir sobre la toxicidad de los metales pesados. Los silicatos aluminicos hidratados de las arcillas poseen superficies con cargas predominantemente negativas que pueden ser compensadas por cationes adsorbidos. A su vez, estos cationes pueden ser desplazados por otros existentes en el ecosistema.

De esta manera los metales pesados pueden ser extraídos de la solución, aunque sea temporalmente, variando su bioasimilación y su toxicidad. Los óxidos hidratados de hierro, los dióxidos de manganeso y los óxidos de aluminio poseen la misma capacidad de intercambio catiónico (Boyle *et al.*, 1998; Trimble *et al.*, 1999). La materia orgánica tanto soluble como particulada, altera la distribución de los metales pesados; se produce por regla general una disminución de los niveles disueltos y un aumento de la concentración de metales en los sedimentos.

Los exudantes orgánicos de ciertos organismos, los quelantes naturales como succinato, citrato y aspartato, los aminoácidos con grupo sulfhídrico presente en el medio, los quelantes orgánicos de síntesis y los ácidos húmicos y fúlvicos son algunas de las sustancias orgánicas capaces de retener metales, aunque sea de forma temporal (Bautista-Silva, 2004).

La diferencia en la composición físico-química de los sedimentos como el tamaño de

las partículas, distribución y mineralogía afectan las concentraciones de los metales pesados de origen natural. Una alta concentración de metales en sedimentos puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual (Billon *et al.*, 2001). Un alto grado de industrialización y urbanización es un fuerte riesgo de contaminación por metales pesados en sedimentos anaerobios y ricos en sulfuros que favorecen la retención y acumulación de metales (Monteiro y Roychoudhury, 2005).

Ward y Young (1982), realizaron un estudio en Australia, en sedimentos de un cuerpo de agua cercano a una fundidora de plomo, en el cual evaluaron la toxicidad de las muestras de sedimento, cada una de las cuales se tomaron a diferentes distancias y profundidad de la fundidora encontrando que las concentraciones de metales traza en los sedimentos más cercanos a la misma se presentaban mayor contaminados, caso contrario con los más lejanos en los que se detecto menos concentración, lo mismo sucedió cuando se analizo los sedimentos superficiales y los profundos en los que a mayor profundidad disminuía la concentración de metales traza en el sedimento.

La información de la prueba de toxicidad del sedimento se combino con los análisis químicos y datos físicos del sistema acuático teniendo como resultado que la presencia de materia orgánica, potencial redox, carbonatos, bicarbonatos, temperatura, pH, etc.. son de relevante importancia para la movilidad de los metales en el lugar, pero acentuando que lo principal para la disponibilidad de los mismos es el estado en que se encuentre el metal ya sea de forma iónica ó elemental y mencionando que estos son absorbidos por la biota pasando a la cadena alimenticia llegando a causar daños a organismos superiores.

### **Ley, Reglamento y Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Suelo, Agua y Sedimentos**

En el establecimiento de las bases que dan origen a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), un aspecto importante es la

identificación de las bases constitucionales que dan fundamento a la creación de políticas de ordenamiento territorial. Con esta orientación encontramos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, los siguientes artículos (Gamboa-Pérez, 2002):

**Artículo 2.-** Donde se contemplan las reformas para incorporar a los pueblos indígenas al desarrollo social a partir de los siguientes principios: el uso y disfrute preferente de los recursos naturales en los que habita y el participar en la conservación y mejoramiento de su hábitat.

**Artículo 25.-** Donde se establece la función del Estado en el desarrollo nacional por el fortalecimiento de aquellas actividades económicas que demanden el interés general sin perder de vista el cuidado y conservación del medio ambiente. Con las reformas de 1983 se fortalece la rectoría del Estado en el desarrollo nacional y se incorpora la participación de los sectores público, social y privado como promotores activos del desarrollo.

**Artículo 26.-** Define el papel del ejecutivo en el establecimiento de los procedimientos de consulta en el sistema de planeación democrática sobre los criterios para la formulación, instrumentación, control y evaluación del Plan Nacional de Desarrollo y los programas sectoriales derivados del mismo.

**El artículo 27.-** Se define que la propiedad originaria de las tierras y aguas comprendidas dentro del territorio mexicano corresponde a la nación; así mismo es ella a quien le compete el derecho de transmitir su dominio a los particulares mediante la propiedad privada; de la misma manera cuando el interés público así lo requiere puede recuperar el dominio de los mismos mediante la expropiación. La Nación tendrá el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que sean de interés público, regular el aprovechamiento de los recursos naturales que puedan ser utilizados con la finalidad de conservarlos y garantizar el mejoramiento de la calidad de vida de la población rural y urbana.

**En el artículo 73.-** fracción XXIX G se define que es facultad del Congreso expedir leyes que establezcan la concurrencia de los Gobiernos Federal, Estatal y Municipal en el ámbito de sus respectivas competencias en materia de protección ambiental y de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

**Finalmente el artículo 115.-** concede atribuciones a los municipios para formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal, de la misma forma participa en la creación de la administración de las reservas territoriales, controla y vigila la utilización del suelo en su jurisdicción territorial e interviene en la tenencia de la tierra urbana, así mismo está facultado para otorgar licencias y permisos de construcción, participar en la creación y administración de las reservas ecológicas urbanas.

Como se desprende del contenido de los artículos constitucionales en el espíritu de la creación de la LGEEPA, al contrario de otras leyes, no nace como reglamentaria de un artículo constitucional, sino como el marco de un conjunto de ellos lo cual le da un carácter peculiar tanto en su estructuración como en su aplicación (Gamboa-Pérez, 2002).

## **Suelo**

La regulación para la prevención y control de la contaminación de los suelos, así como para su remediación se contempla en los siguientes artículos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (2006); sin embargo, esta Ley establece lineamientos generales por los que el Estado deberá desarrollar instrumentos normativos, como reglamentos y normas afines, que garanticen el cumplimiento de esta disposición jurídica.

**Artículo 134.-** Para la prevención y control de la contaminación del suelo se considerarán los siguientes criterios:

I. Corresponde al Estado y a la sociedad prevenir la contaminación del suelo.

II. Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos.

III. Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su rehúso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes.

IV. La utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar.

V. En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable.

**Artículo 135.-** Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo, se considerarán en los siguientes casos:

I. La ordenación y regulación del desarrollo urbano.

II. La operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios.

III. La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.

IV. El otorgamiento de todo tipo de autorizaciones para la fabricación, importación, utilización y en general la realización de actividades relacionadas con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

**Artículo 136.-** Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

I. La contaminación del suelo.

II. Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos.

III. Las alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación.

#### IV. Los riesgos y problemas de salud.

**Artículo 139.-** Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta LGEEPA, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría.

**Artículo 140.-** La generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto expida la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

**Artículo 141.-** La Secretaría en coordinación con las Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y de Salud, expedirán normas oficiales mexicanas para la fabricación y utilización de empaques y envases para todo tipo de productos, cuyos materiales permitan reducir la generación de residuos sólidos.

**Artículo 142.-** En ningún caso podrá autorizarse la importación de residuos para su derrame, depósito, confinamiento, almacenamiento, incineración o cualquier tratamiento para su destrucción o disposición final en el territorio nacional o en las zonas en que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

**Artículo 143.-** Los plaguicidas, fertilizantes y demás materiales peligrosos, quedarán sujetos a las normas oficiales mexicanas que expidan en el ámbito de sus respectivas competencias, la Secretaría y las Secretarías de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, de Salud y de Comercio y Fomento Industrial. El Reglamento de esta LGEEPA incluirá la regulación, que dentro del mismo marco de coordinación, deba observarse en actividades relacionadas con dichos materiales, incluyendo la disposición final de sus residuos, empaques y envases vacíos, medidas para evitar efectos adversos en los ecosistemas y procedimientos para el otorgamiento de las autorizaciones correspondientes.

**Artículo 152 bis.-** Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el predio o zona respectiva.

Aunque se cuenta con estos artículos en la LGEEPA es necesario asentar en esta Ley dos aspectos primordiales, primero, introducir el concepto de remediación, y segundo, que el gobierno federal tenga atribuciones específicas para regular en materia de remediación de suelos contaminados.

Además de lo anterior, es necesario desarrollar disposiciones reglamentarias y normativas específicas en la materia, que contemplen entre otros aspectos los siguientes:

- 1.- Evitar que en sitios contaminados se desarrollen actividades sin antes llevar a cabo acciones de remediación, de acuerdo al uso que se le quiera dar, principalmente cuando se trata de un cambio de uso de suelo.
- 2.- Que se considere dentro del plan de cierre de las instalaciones, para su clausura o que han dejado de operar, la limpieza y remediación de éstas (INE, 2001).

### **Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.**

En el capítulo primero (De la competencia y organización de la secretaría),

**Artículo 2.-** nos dice que para el estudio, planeación, y despacho de sus asuntos, la Secretaría contará con los servicios públicos y unidades administrativas estableciendo en la fracción XXIV la Dirección general de gestión forestal y de suelos (INE, 2006).

## **Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Suelo.**

**NOM-020-RECNAT-2001.-** Que establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo. Su aplicación es específica a empresas dedicadas a la explotación y aprovechamiento forestal.

**NOM-021-RECNAT-2000.-** Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Se aplica a empresas dedicadas a la investigación y clasificación de suelos.

**NOM-060-ECOL-1994.-** Establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal. Se dirige a empresas dedicadas a la explotación y aprovechamiento forestal.

**NOM-142-SEMARNAT-2003.-** Establece los lineamientos técnicos para el combate y control del *psílido* del eucalipto. *Glycaspisbrimblecombei* Moore. La cual es específica a empresas dedicadas a la explotación y aprovechamiento forestal.

**NOM-023-RECNAT-2001.-** Establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios del suelo (Compilación de la legislación ecológica Federal, 2006).

## **Agua**

### **Ley de Aguas Nacionales.**

La Ley de Aguas Nacionales fue publicada el primero de diciembre de 1992, durante el periodo de Carlos Salinas de Gortari. Esta ley es reglamentaria del artículo 27 constitucional y de observancia general en todo el territorio nacional, siendo sus disposiciones de orden público e interés social. Esta ley tiene por objeto, regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Esta ley se compone de diez títulos y sus respectivos capítulos:

- En el Título Primero, relativo a las Disposiciones Preliminares, se compone de un único Capítulo, dentro del cual, se establece el objeto de la presente ley y un glosario de los términos que se utilizarán en la presente legislación.
- En el Título Segundo relativo a la Administración del Agua, el capítulo primero es referente a las disposiciones generales; el capítulo Segundo habla del Ejecutivo Federal y sus facultades en materia de agua; el capítulo tercero, de la Comisión Nacional del Agua y sus facultades y los órganos que la integran; el capítulo cuarto de los Consejos de Cuenca, sus atribuciones, y quienes son los órganos encargados de su establecimiento; finalmente el capítulo quinto habla de la Organización y Participación de los Usuarios, estableciendo que CNA acreditará, promoverá y apoyará la organización de los usuarios para mejorar el aprovechamiento del agua y la preservación y control de su calidad, y para impulsar la participación de éstos a nivel estatal, regional o de cuenca.
- El Título Tercero habla de la Programación Hidráulica, y se integra de un Capítulo único en el cual se precisa a quien corresponde la formulación, aplicación y vigilancia de los programas hidráulicos.
- El Título Cuarto es el relativo a los Derechos de uso o aprovechamiento de Aguas Nacionales, el cual se compone de cinco capítulos; el capítulo primero es el relativo a las Aguas Nacionales, estableciendo que las aguas nacionales con las que se mencionan en el artículo 27 constitucional; el capítulo segundo habla de las Concesiones y Asignaciones para la explotación de las aguas, los requisitos y procedimientos para obtener dichas concesiones y asignaciones; el capítulo tercero que habla de los derechos y obligaciones de concesiones o asignatarios, en donde establece específicamente los derechos y obligaciones de los concesionarios; el capítulo cuarto relativo al Registro Público de Derecho de Agua, en donde establece lo procedimientos para llevar a cabo dicha inscripción; finalmente el capítulo quinto que habla de la Transmisión de Títulos y todo lo relativo a los supuestos en que habrá de presentarse y el procedimiento para llevarlo a cabo.

- El Título Quinto que habla de las Zonas Reglamentadas, de veda o de reserva, integrado de un Capítulo Único, en donde se establece todo lo relativo a estas en cuanto a su declaración, solicitud para explotaras, etc.
- El Título Sexto que habla de los Usos del agua, compuesto de cinco capítulos; el capítulo primero trata del uso público urbano; el capítulo segundo habla del Uso Agrícola, este capítulo se integra de cinco secciones: primera, relativa las disposiciones generales, la segunda de los ejidos y comunidades, la tercera de las unidades de riesgo, la cuarta de los distritos de riesgo, la quinta del drenaje agrícola; el capítulo tercero habla del Uso en Generación de Energía Eléctrica; el capítulo cuarto del Uso en otras Actividades Productivas y finalmente en el capítulo quinto habla del Control de Avenidas y Protección contra Inundaciones.
- En el Título Séptimo, habla de la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas, integrado por un Capítulo Único, estableciendo las facultades de la CNA en esta materia, las declaraciones que debe rendir, los procedimientos relacionados, la suspensión de actividades como consecuencia de esta, las causas de revocación de los permisos entre otras.
- En el Título Octavo, habla de la Inversión en Infraestructura Hidráulica, se integra de cuatro capítulos: el capítulo primero habla de las Disposiciones Generales; el capítulo segundo de la participación de Inversión Privada y Social en Obras Hidráulicas Federales; el capítulo tercero de la Recuperación de Inversión Pública; y el capítulo cuarto habla del Cobro por Explotación, Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales y Bienes Nacionales.
- El Título Noveno relativo a los Bienes Nacionales a cargo de la CNA, se integra de un Capítulo único, habla de la administración de dichos bienes, de los cambios de corrientes, de su uso, explotación y aprovechamiento de estos.
- Finalmente en el Título Décimo habla de las Infracciones, Sanciones y Recursos se integra de dos capítulos; primero de las Infracciones y Sanciones Administrativas y el capítulo Segundo de los Recursos de Revisión.

Por lo que se refiere al Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, se compone de los mismos títulos y capítulos que la ley, con las mismas denominaciones, con la

salvedad de que se agrega un último Título undécimo, relativo a la Conciliación y el Arbitraje, integrado de un Capítulo único, en donde se establece en forma clara el procedimiento que se lleva a cabo y sus diferentes etapas (Bastida-Aguilar, 2002).

### **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente**

El Título tercero relativo al aprovechamiento sustentable de los elementos naturales, en el cual se ubica en el capítulo primero lo relativo al aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos.

El Título Cuarto relativo a la Protección al Ambiente, en el capítulo tercero trata de la Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos (Bastida-Aguilar, 2002).

### **Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Agua**

**NOM-003-CNA-1996.**- Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de aguas para prevenir la contaminación de acuíferos. Su aplicación es general a usuarios de agua subterránea.

**NOM-004-CNA-1996.**- Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción del agua y para el cierre de pozos en general. Se aplica de manera general a usuarios de agua subterránea.

**NOM-002-CNA-1995.**- Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable-especificaciones y métodos de prueba. Se aplica específicamente a empresas de construcción y mantenimiento de cada habitación.

**NOM-005-CNA-1996.**- Fluxómetros-especificaciones y métodos de prueba. Su aplicación es específica, a fabricantes de fluxómetros. Empresas que realicen medición de flujo.

**NOM-006-CNA-1997.**- Fosas sépticas prefabricadas-especificaciones y métodos de prueba. Su aplicación es específica, a fabricantes de fosas sépticas.

**NOM-007-CNA-1997.**- Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua. Su aplicación es específica a empresas de construcción, empresas de operación de tanques para agua.

**NOM-008-CNA-1998.**- Regaderas empleadas en el aseo corporal-especificaciones y métodos de prueba. Su aplicación es específica a fabricantes de regaderas.

**NOM-009-CNA-2001.**- Inodoros para uso sanitario-especificaciones y métodos de prueba. Su aplicación es específica a fabricantes de inodoros.

**NOM-010-CNA-2000.**- Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro-especificaciones y métodos de prueba. Su aplicación se aplica de forma específica a fabricantes de inodoros.

**NOM-011-CNA-2000.**- Establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Su aplicación es específica a la Comisión Nacional del Agua y gobiernos estatales.

**NOM-013-CNA-2000.**- Redes de distribución de agua potable-especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba. Se aplica de manera específica a sistemas de agua municipales, empresas de construcción instalación de redes de distribución de agua potable.

**NOM-001-ECOL-1996.**- Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Se aplica de forma general a todos aquellos que descarguen aguas residuales en aguas y bienes nacionales como lagos, lagunas, ríos, arroyos, cuencas, presas, océanos, mares, mantos freáticos, etcétera.

**NOM-002-ECOL-1996.**- Establece los límites máximos permisibles de contaminantes

en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Se aplica en general a todos aquellos que descarguen aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.

**NOM-003-ECOL-1997.-** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúnen en servicios al público. Se aplica específicamente a quienes realicen el tratamiento de aguas residuales para servicios públicos quienes utilicen el agua tratada.

**NOM-004-SEMARNAT-2002.-** Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Se aplica de forma específica a empresas de tratamiento de aguas residuales que generen lodos y biosólidos como parte de su proceso (Compilación de la legislación ecológica Federal, 2006).

### **Sedimentos**

En cuanto a los sedimentos, en la actualidad en el Estado de Coahuila y en la República Mexicana no cuenta con una normativa sobre los niveles permitidos de metales pesados, aunque algunos países como Holanda y Estados Unidos si disponen de legislación en este sentido.

En el caso de Holanda se tiene como límite máximo permisible para el arsénico 85 ppm, cadmio 2 ppm, cobre 16 ppm, plomo 85 ppm y zinc 140 ppm y de acuerdo con la EPA el límite máximo permisible para plomo es 50 ppm, cobre 50 ppm, zinc 75 ppm y cadmio de 2 ppm (Pino, 2005; Vargas-Rodríguez y Chira-Fernández, 2006).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el municipio de Torreón, Coahuila, México.

### Localización geográfica de los sitios de muestreo

Los puntos de muestreo y su localización geográfica se presentan en el cuadro 1 y la ubicación geográfica se muestra en la gráfica 1.

**Cuadro 1. Localización geográfica del punto de muestreo.**

Sitio de muestreo	Ubicación geográfica	Altura sobre el nivel del mar
San Miguel Matamoros Coahuila	W: 103° 13' 41" N: 25° 31' 40"	1120 m

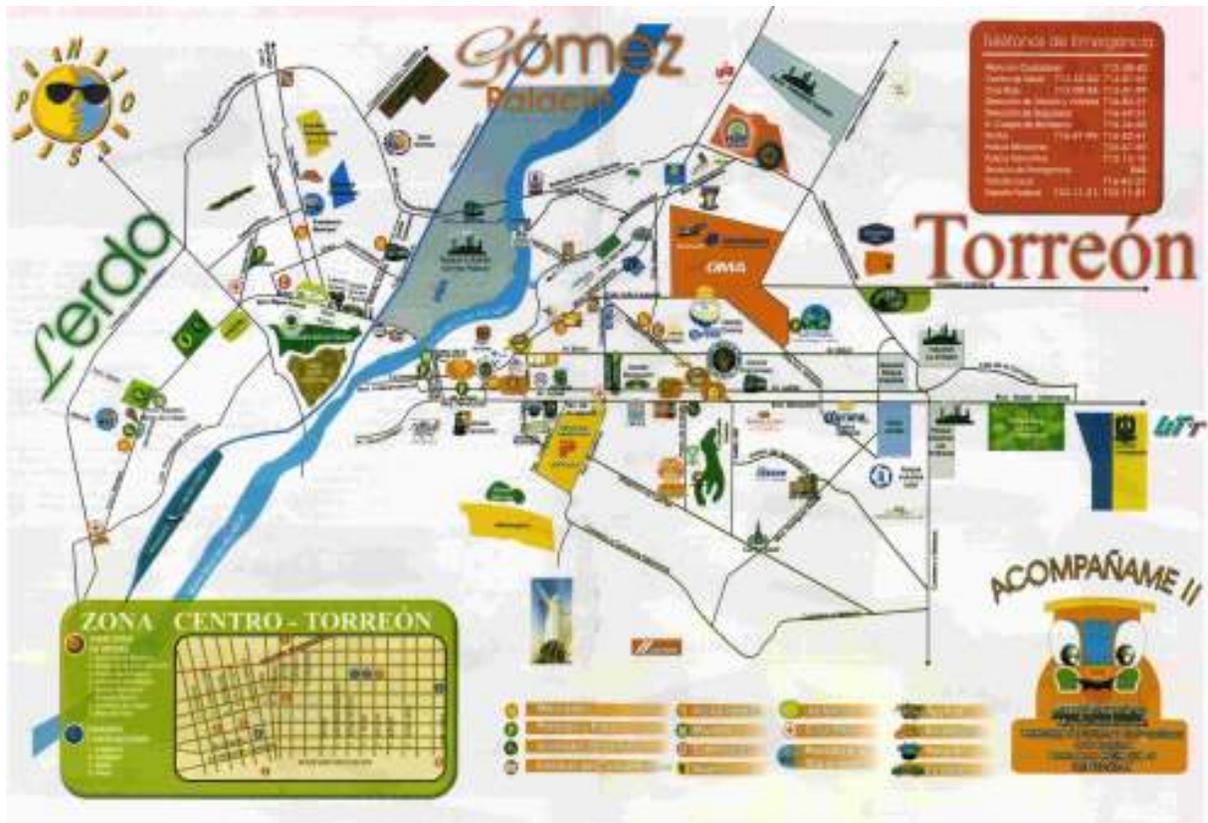


Figura 8.- Ubicación geográfica del área de estudio.

### Determinación de los sitios de muestreo

Se tomaron las muestras en la siguiente localidad. Estas características de definen de la siguiente forma:

- La localidad se ubica en un área de siembra de hortalizas bajo un régimen de riego con agua residual, la cual se encuentra en el ejido San Miguel Municipio de matamoros Coahuila.

### Toma de muestras y preparación

El muestreo se realizó utilizando la técnica al azar tomando muestras de 0-15, 15-30, 30-60, en cada profundidad, las muestras se obtuvieron en el mes de Julio del 2013. Se tomaron al azar al inicio del experimento para determinar las características en las que se encontraba el suelo, se tomaron las muestras en bolsas de plástico de 2 kg de capacidad y se transportaron en hieleras para después ponerlas a secar y una vez que perdieron la humedad se tamizaron para posteriormente realizar los análisis respectivos, los promedio se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro 2. Promedios generales de los análisis químicos del sedimento a 3 profundidades.**

Profundidad	Arsénico			Cadmio			Cobre		
	0-15	15-30	30-60	0-15	15-30	30-60	0-15	15-30	30-60
San Miguel	0.20	0.20	0.15	0.29	0.25	0.15	12.37	8.37	4.51

### Continuación cuadro 2.

Profundidad	Plomo			Zinc		
	0-15	15-30	30-60	0-15	15-30	30-60
San Miguel	27.06	24.28	24.28	23.76	19.05	16.38

\*Los valores son promedios de 3 muestras y están expresados en partes por millón (ppm)

### **Análisis químicos o variables a evaluar:**

#### **Cuadro 3.- Analisis químico realizados en suelo.**

<b>Analisis</b>	<b>Método y Aparato</b>
Arsenico (As)	Espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380.
Cadmio (Cd)	
Cobre (Cu)	
Plomo (Pb)	
Zinc (Zn)	

#### **Análisis de metales pesados**

Para llevar a cabo los análisis de los metales pesados en el suelo de las localidades estudiadas se utilizaron 5 g de la muestra de cada sitio y éstas se leyeron directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380. Para obtener la concentración de Arsénico en el sedimento se utilizó el test marca Merk.

### **Análisis y modelo estadístico**

El análisis estadístico para la interpretación de los resultados se realizó mediante el paquete computacional (SAS), Statistical Analysis System Ver. 6.18 (1998). Se utilizó un diseño estadístico en parcelas divididas en localidades o bloques al azar en localidades y 10 repeticiones con 3 profundidades, en el cual el modelo matemático es el siguiente:

$$\text{Modelo: } Y_{ijk} = \mu + L_i + \beta_{j(i)} + t_k + (LT)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

$$i=1,2,\dots,l$$

$$j=1,2,\dots,r$$

$$k=1,2,\dots,t$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Es la observación del tratamiento  $k$  en el bloque  $j$  en la localidad  $i$

$\mu$  = Es el efecto verdadero de la media general

$L_i$  = es el efecto de la  $i$ -ésima localidad

$\beta_{j(i)}$  = Es el efecto del  $k$ -ésimo bloque en la  $i$ -ésima localidad

$t_k$  = Es el efecto de  $k$ -ésimo tratamiento

$(LT)_{ik}$  = Es el efecto de la interacción entre el tratamiento  $k$  y la localidad  $i$

$\epsilon_{ijk}$  = Es el error experimental de la ij-esima observación

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Arsénico (As)

El arsénico es uno de los metaloides que con más frecuencia se encuentran en aguas subterráneas que se usan para el consumo. La utilización de aguas contaminadas tanto para cocinar como para beber podría suponer un riesgo para la salud.

El Cuadro 3 representa el análisis de varianza para la determinación de arsénico donde se reporto diferencia estadística altamente significativa entre localidades con una  $p > F$  de 0.0001, la prueba de medias mostro una diferencia mínima significativa (dms) de 0.0131 donde las concentraciones mas altas de As los reporta la localidad de Matamoros con un valor de 0.18 partes por millón (ppm), (Figura 9).

Chen *et al.*, mencionan que la exposición a largo plazo a cantidades bajas de arsénico en el agua de bebida se asociaba a la incidencia de cánceres de piel, pulmón, vejiga urinaria, riñón, e hígado. Esto ocasionó que en los Estados Unidos de América por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) revisara por recomendación de la Academia Nacional de Ciencias de este país, la norma para arsénico en el agua de consumo y fue en el año 2001 cuando definitivamente se consideró reducir de 50 microgramos por litro a 10 microgramos por litro la concentración de arsénico en agua para beber, el motivo explicito de dicho ajuste fue que permitiría disminuir el número de varios tipos de cáncer y de otras enfermedades entre ellas diabetes e hipertensión.

Otro factor importante sobre el arsenicismo en la Laguna que se han convertido en ejemplos clásicos de la literatura médica de todo el mundo que trata del envenenamiento con metales y metaloides. Administraciones estatales y municipales han pasado y el problema sigue allí, enraizado en la tierra, confundido con el agua que beben muchos mexicanos en la leche de una conocida marca comercial.

**Cuadro 4. Analisis de varianza para la concentración de As**

<b>Fuente de varianza</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
LOC (localidad)	2	0.03466667	0.01733333	40.00	<.0001
PAR (parcela)	9	4.440892E-16	4.934325E-17	Infin	1.0000
PR (profundidad)	2	0.00200000	0.00100000	Infin	0.1126
LOC*PAR	18	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
PAR*PR	18	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
Error	40	0.01733333	0.00043333		
Total	89	0.05400000			
R. Cuadrado		0.679012			
C.V.		13.28723			

### **Cadmio (Cd)**

El análisis de varianza (Cuadro 4), no reporto diferencia estadística entre parcelas ni entre profundidades, solo se encontró diferencia estadística altamente significativa entre localidades con una  $pr>F$  de 0.0001, en la prueba de medias se encontró una  $dms=0.0717$ , encontrándose la mayor concentración en la localidad con un valor de 0.49 ppm, las localidades de Matamoros reportan valores de 0.40 ppm y 0.23 ppm respectivamente (Figura 10).

En Toyama, Japón, la ingesta de arroz que fue regado con agua contaminada con cadmio, esto produjo una entrada al cuerpo de unos 300 microgramos diarios de ese metal. El cadmio provenía de una explotación minera de las cercanías. La enfermedad se la conoce como (ay ay) por lo dolorosos síntomas de las fracturas múltiples producidas por osteomalicia (reblandamiento de los huesos).

En la década de 1940, durante la fabricación de baterías alcalinas de níquel-cadmio, varias personas murieron en Suecia por la acción del óxido de cadmio, cuya concentración en el aire era de algunos miligramos por metro cúbico.

En Shipham, una población cercana a una mina de zinc en Inglaterra, se observó que los habitantes tenían signos de toxicidad por cadmio, presentando en el hígado unos niveles de metal cinco veces superior a los encontrados en habitantes de áreas no contaminadas. Las verduras cultivadas en el área cultivada contenían más de 7 mg/kg de peso seco, concentración muy superior al contenido de cadmio encontrado en la intoxicación de Japón.

**Cuadro 5. Analisis de varianza para la concentración de Cd.**

<b>Fuente de varianza</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
LOC (localidad)	2	1.11906889	0.55953444	301947	<.0001
PAR (parcela)	9	0.00001134	0.00000126	0.94	0.5183
PR (profundidad)	2	0.05787576	0.02893788	15616.0	0.1213
LOC*PAR	18	0.00002422	0.00000135	0.00	1.0000
PAR*PR	8	0.00003336	0.00000185	0.00	1.0000
Error	40	0.52028489	0.01300712		
Total		1.69729846			
R. Cuadrado		0.6934			
C.V.		30.0506			

## **Cobre (Cu)**

Cuando el Cobre termina o se deposita en el suelo este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales, este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. Sin embargo en el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres. El Cobre no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos.

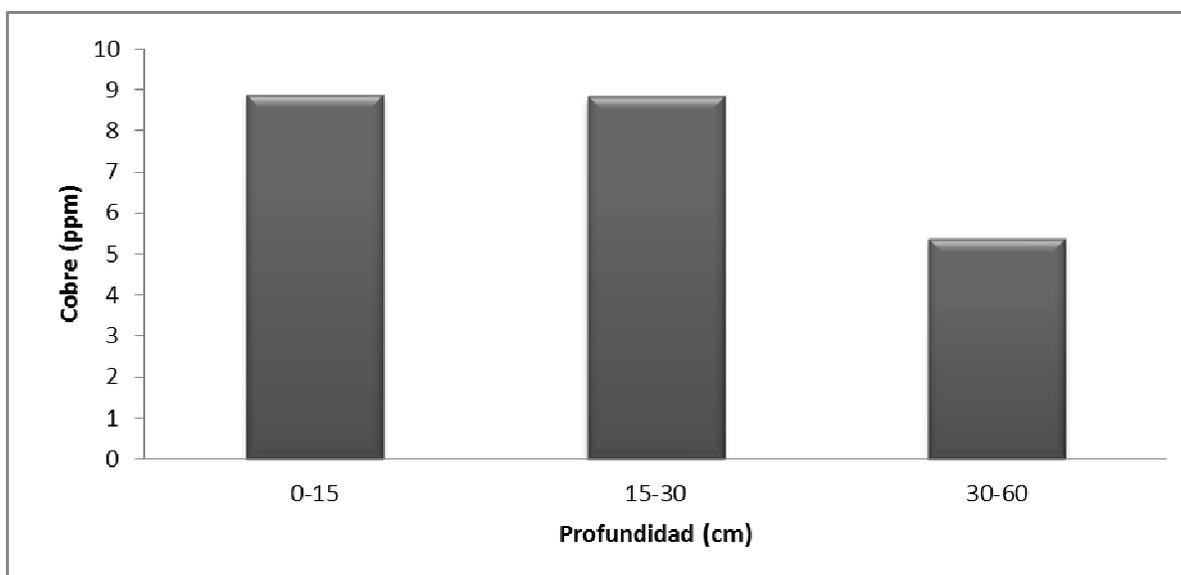
El análisis de varianza reporto diferencia estadística altamente significativa entre localidades y entre profundidades (Cuadro 5), sin embargo al realizar la prueba de medias entre localidades esta nos muestra estadísticamente iguales reportando una  $dms=1.48$ , los valores que se reportaron fueron 8.2, 7.9 y 6.9 ppm correspondientes a Matamoros, (Figura 11). Para las profundidades (Figura 12) se encontró una  $dms=1.48$ , encontrándose estadísticamente las profundidades de 0-15 y 15-30 cm con valor de 8.8 ppm, la profundidad de 30-60 cm mostro un valor de 5.3 ppm.

El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene Cobre es todavía usado.

El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto. Cuando los suelos de las granjas están contaminados con Cobre, los animales pueden absorber concentraciones de Cobre que dañan su salud.

**Cuadro 6. Analisis de varianza para la concentración de Cu.**

<b>Fuente de varianza</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
LOC (localidad)	2	28.8858956	14.4429478	17.78	<.0001
PAR (parcela)	9	14.42938333	1.60326481	0.99	0.4804
PR (profundidad)	2	246.5458956	123.2729478	151.76	<.0001
LOC*PAR	18	29.1276600	1.6182033	0.29	0.9967
PAR*PR	18	14.6213267	0.8122959	0.15	1.0000
Error	40	222.5763111	5.5644078		
Total	89	556.1864722			
R. Cuadrado		0.5998			
C.V.		30.6328			



**Figura 12. Concentración de Cu en las tres profundidades.**

### **Plomo (Pb)**

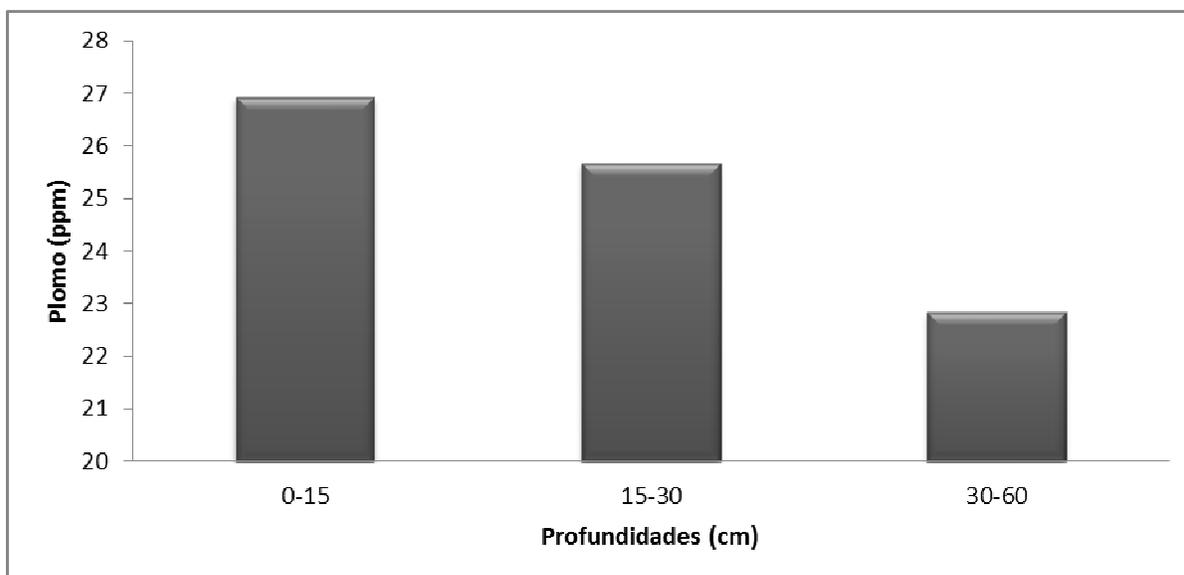
El análisis de varianza (Cuadro 6) mostro diferencia estadística altamente significativa en la variable plomo entre profundidades con una  $p > F$  de 0.0014 y 0.0001 respectivamente con una dms igual para ambos casos correspondiente a un valor de 1.34. La figura 13 muestra el comportamiento de las localidades encontrandose el valor mayor de concentraciones de plomo en la localidad de Matamoros con un valor de 27.83 ppm, el segundo valor, mas alto fue con un valor de 25.27 ppm, el valor menor lo reporta con 22.32 ppm. Para el caso de las profundidades. Figura 14 la mayor concentración de plomo se encuentra en la primer y segunda profundidad siendo estadisticamente iguales con valores promedio de 26.93 y 25.67 ppm respectivamente la profundidad 3 (30-60 cm) alcanzaron un valor de 22.83 ppm, la dms reportada es de 1.34.

Benin *et al.*, (1999), de la Escuela de Medicina de Dartmouth, concluyeron que en Torreón existe plomo 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.

Otras investigaciones realizadas desde 1962 por investigadores de la Secretaría de Salud documentaron un caso de plomo agudo en Torreón. Este episodio, que causó la muerte de un adulto, fue documentado en la Revista Salud Pública de México en 1964. El mismo año, el doctor Gonzalo García Vargas, toxicólogo de la Universidad Juárez del estado de Durango, en el ejido venecia municipio de 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.

**Cuadro 7. Analisis de varianza para la concentración de Pb.**

<b>Fuente de varianza</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
LOC (localidad)	2	456.7925600	228.3962800	2605.88	<.0014
PAR (parcela)	9	0.42943222	0.04771469	0.61	0.7700
PR (profundidad)	2	263.8945400	131.9472700	1505.45	<.0001
LOC*PAR	18	1.3987511	0.0777084	0.02	1.0000
PAR*PR	18	1.5776378	0.0876465	0.02	1.0000
Error	40	184.0730889	4.6018272		
Total	89	908.1660100			
R. Cuadrado		0.7973			
C.V.		8.5303			



**Figura 14. Concentración de Pb.**

## Zinc (Zn)

El Zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe demasiado o poco Zinc estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Pequeñas llagas, y erupciones cutáneas. La acumulación del Zinc puede incluso producir defectos de nacimiento. Incluso los humanos pueden manejar proporcionalmente largas cantidades de Zinc, demasiada cantidad de Zinc puede también causar problemas de salud eminentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de Zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de Zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios.

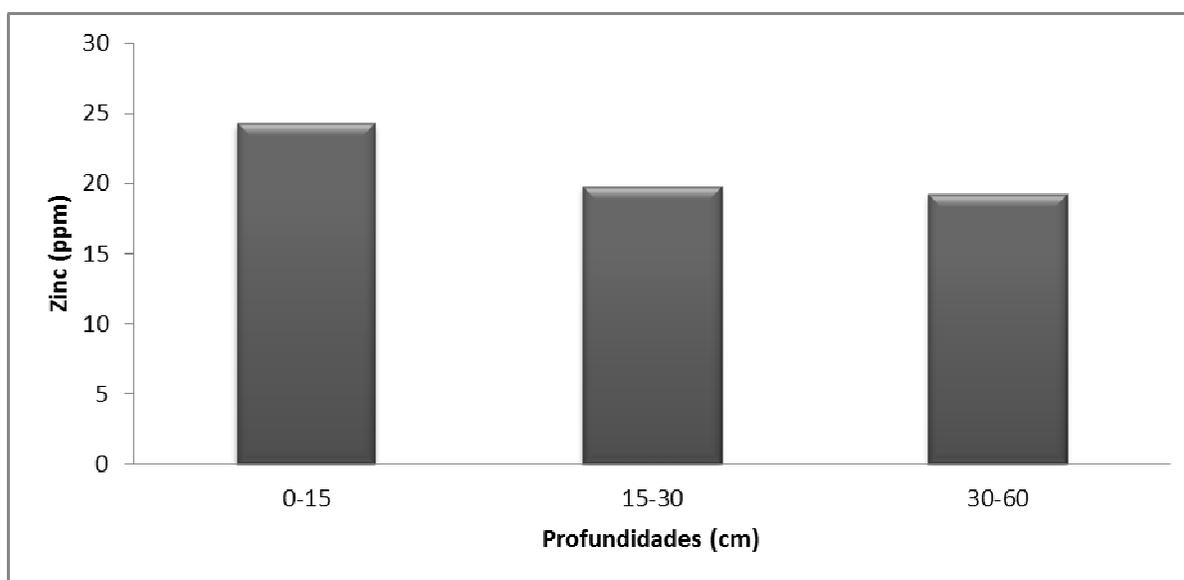
El análisis de varianza en la variable zinc muestra diferencia estadística altamente significativa entre localidades y entre profundidades con una  $p > F$  de 0.0001 para ambos casos (localidad y profundidad), (Cuadro 7), la comparación de medias reporto una dms de 1.51 en las localidad donde se obtuvo el mayor valor en Matamoros siendo estas estadísticamente iguales con valores de 22.11 y 21.55 ppm respectivamente la localidad de Matamoros mostro un valor de 19.76 ppm Figura 15. Las profundidades estadísticamente iguales en esta variable fueron 15-30 y 30-60 cm (segunda y tercera) con valores de 19.84 y 19.28 ppm, siendo estas menores a la primera profundidad que alcanzo un valor de 24.31 ppm, Figura 16, la dms encontrada fue de 1.51

El Zinc es una substancia muy común que ocurre naturalmente. Muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de Zinc. El agua potable también contiene cierta cantidad de Zinc. La cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal. Las fuentes industriales o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa del Zinc en el agua potable llegando a niveles que causan problemas. En el Ambiente de trabajo el contacto con Zinc puede causar la gripe conocida como la fiebre del metal. Esta pasará después de dos días y es causada por una sobresensibilidad. El Zinc puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién

nacidos. Cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de Zinc los niños pueden ser expuestos a éste a través de la sangre o la leche de sus madres.

**Cuadro 8. Analisis de varianza para la concentración de Zn.**

Fuente de varianza	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
LOC (localidad)	2	90.4736267	45.2368133	493.83	<.0001
PAR (parcela)	9	1.2058000	0.1339778	1.48	0.2278
PR (profundidad)	2	456.1999267	228.0999633	2490.06	<.0001
LOC*PAR	18	1.6270400	0.0903911	0.02	1.0000
PAR*PR	18	1.6488733	0.0916041	0.02	1.0000
Error	40	231.4693333	5.7867333		
Total	89	782.6246000			
R. Cuadrado		0.7042			
C.V.		11.3756			



**Figura 16. Concentración de Zn.**

## CONCLUSIONES

Se caracterizó el estado actual del suelo agrícola, con cultivos hortícolas de la comarca lagunera, al determinar el contenido de cinco metales pesados. En la localidad muestreada se encontraron altas concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc. Lo que deja de manifiesto el alto grado de contaminación industrial de estos suelos.

**Cuadro 1: Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de elementos pesados.**

Localidades	Profundidad	As	Cd	Cu	Pb	Zn
San Miguel	0-15	0.20	0.29	12.37	27.06	23.76
San Miguel	15-30	0.20	0.25	8.37	24.28	19.05
San Miguel	30-60	0.15	0.15	4.51	24.28	16.38

\*Los valores son promedios de 3 muestras y están expresados en partes por millón (ppm).

**Cuadro 2. Promedios generales de los análisis químicos del sedimento a tres profundidades.**

F. V.	GL	As	Cd	Cu	Pb	Zn
LOC	2	0.01**	0.55**	14.44**	228.39**	45.23**
PAR	9	4.93	0.00	2.60	0.04	0.13
PR	9	0.00	0.01	123.27**	131.94**	2228.09**
LOC*PAR	18	0.00	0.00	1.61	0.07	0.09
PAR*PR	18	0.00	0.00	0.81	0.08	0.09
<b>Error</b>	<b>40</b>	0.00	0.01	0.81	4.60	5.78
C.V.		13.28	30.05	30.63	8.53	11.37

## BIBLIOGRAFIA

- Abeliuk, R. 2007. (En línea) Tratamiento de aguas servidas en Santiago (I): Los tristes records del agua de Santiago. ([http://www.cipma.cl/RAD/1991/2\\_Abeliuc.pdf](http://www.cipma.cl/RAD/1991/2_Abeliuc.pdf)). (Consultada el 2 de octubre del 2007).
- Acosta, V., C. Lodeiros, W. Senior y G. Martínez. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*. Vol. 27. N° 012. p.p. 686-690.
- Agency for toxic substances & disease registry (ATSDR). 2005.(En línea). Zinc. ([http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs60.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs60.html)). (Consultad el 25 de Septiembre del 2007).
- Alonso-Martínez, J. I. y A. García-Martinicorena. 2001. (En línea) Contenido de metales pesados en suelos forestales de Navarra. (<http://www.gorosti.org/docs/gorosti1603.pdf>) (Consultada el 30 de Septiembre del 2007).
- Amat-Infante, P. D., A. Pierra-Conde, I. Casals-Blet y D. Vázquez-Avella. 2002. Estudio de la concentración de metales pesados en sedimentos y ostiones en la bahía de Manzanillo, Cuba. *Journal of the Mexican Chemical Society*. Vol. 46. N°004. p.p. 359-361.
- Atlas de productos básicos. 2004. (En línea). Producción uso y consumo del zinc. United nations publications. (<http://www.books.google.com.mx>). (Consultada el 25 de Septiembre del 2007).
- Awofolu, O. R., Z. Mbolekwa, V. Mtshemla, y O. S. Fatoki. 2005. Levels of trace

metals in water and sediment from Tyume river and its effects on an irrigated farmland. *Water S. A.* Vol. 31. N° 1. p.p. 87-94.

Bastida-Aguilar, A. 2002. (En línea). Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, resumen sobre legislación ambiental. (<http://www.monografias.com/trabajos34/ley-ecologica-mexico/ley-ecologica-mexico.shtml>). (consultada el 3 de octubre del 2007).

Bautista-Silva, J. L. 2004. (En línea). Transformar el uso de la tierra en cuencas hidrográficas para reducir el aporte de sedimentos a bahías, estuarios y desembocaduras de los ríos. ([http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=520](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=520)). (Consultada el 10 de octubre del 2007).

Bernal-Calderón, M. P. 2003. (En línea). Fertilidad y contaminación de suelos agrícolas. Aplicación al cultivo de la vid. (<http://www.haro.es/ingles/pdf/resumen-bernal.pdf>). (Consultada el 30 de Septiembre del 2007).

Billon, G., B. Ouddane, J. Laureyns y A. Boughriet. 2001. Chemistry of metal sulfides in anoxic sediments. *The Oceanic Societies*. Vol. 3. p.p. 3586-3592.

Boyle, J. F., A. W. Mackay, N. L. Rose, R. J. Flower y P. G. Appleby. 1998. Sediment Heavy metal record in Lake Baikal: natural and anthropogenic sources. *Journal of Paleolimnology*. Vol. 20. p.p. 135-150.

Buykx, S. E. J., M. A. G. T. Hoop y J. P. G. Loch. 2002. Dissolution kinetics of heavy metals in dutch carbonate and sulfide-rich freshwater sediments. *Environ. Qual.* Vol. 31. p.p. 573-580.

Cañizarez-Villanueva, R.O. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. Vol. 42. p.p.

131-143.

Capone, D. G., D. D. Reese, y R. Kiene, 1983. Effects of metals on methanogenesis, sulfate reduction, carbon dioxide evolution, and microbial biomass in anoxic salt marsh sediments. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 45. N° 5 p.p. 1586-1591.

Carrasco, A. 2005. (En línea) Metales pesados en el suelo. (<http://www2.sag.gob.cl/recursos-naturales/criterios-calidad-suelo>). (Consultada el 25 de Septiembre del 2007).

Casey, R. E., J. A. Simon, S. Atueyi, J. W. Snodgrass, N. Karouna-Renier y D. W. Sparling. 2006. Temporal trends of trace metals in sediment and invertebrates from stormwater management ponds. *Water Air Soil pollut.* Vol. 178. p.p. 69-77.

Cervantes, C., A. E. Espino-Saldaña, F. Acevedo-Aguilar, I. L. León-Rodríguez, M. E. Rivera-Cano, M. Ávila-Rodríguez, K. Wróbel- Kaczmarczyk, K. Wróbel-Zasada, J. F. Gutierrez-Corona, J. S. Rodríguez-Zavala y R. Moreno-Sánchez. 2006. Interacciones microbianas con metales pesados. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. Vol. 48. N° 2. p.p. 203-210.

Cobelo-García, A., A. Labandeira y R. Prego. 2005. Two opposite cases of metal accumulation in ria sediments: ferrol and corme-laxe (Galicia, Nw Iberian Peninsula). *Ciencias Marinas*. Vol. 31. N°004. p.p. 653-659.

Compilación de la legislación ecológica Federal. 2006. Normas Oficiales Mexicanas en materia de Suelo. Anaya editores. México, D. F. p.p. 25-26.

Cummings, D. E., A. W. March, B. Bostick, S. Spring, F. Caccavo, S. Fendorf y R. F. Rosenzweig. 2000. Evidence for microbial Fe (III) reduction in anoxic, Mining-

Impacted Lake Sediments (Lake Coeur d' Alene, Idaho). Applied and Environmental Microbiology. Vol. 66. N° 1. p.p. 154-162.

Donahue, W. F., E. W. Allen y D. W. Schindler. 2006. Impacts of coal-fired power plants on trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons(PAH's) in lakesediments in central Alberta, Canada. Journal of Paleolimnology. Vol. 35. p.p. 111- 128.

Elementos Químicos (EQ). 2007. (En línea). Arsénico. (<http://herramientas.educa.madrid.org/tabla/6usos/as6.html>.) (Consultada el 21 de Septiembre del 2007).

Fox, P. M. y H. E. Doner. 2003. Accumulation, release, and solubility of arsenic, molybdenum, and vanadium in wetland sediments. Journal Environment. Qual. Vol 32. p.p. 2428-2435.

Galván-Bobadilla, A. I., R. M. García-Escamilla, N. Gutierrez-García, M. L. Mendoza-Magaña y R. Rosiles-Martínez. 2005. Concentraciones de cádmio y zinc en tejido de cáncer prostático. Revista Mexicana de Patología Clínica. Vol. 52. N° 2. p.p. 109-117.

Gamboa-Pérez, H., A. Pereira-Corona, P. Fragoso-Servón, C. Avila-Reveles, Y. Medina-Gamez, B. Prezas Hernández, E. Cabrera, R. Briseño-Millán, J. Maerk-Steurer, R. Lozano-Cortes, J. Olivarez-Mendoza, T. Duch-Gary, I. Zaragoza-Angeles, N. Borgues -Gamboa, H. Ventura-Hernández y H. Omar-Pech. 2002. (En línea). Programa de ordenamiento ecológico territorial de la región Bacalar. ([http://www.ciencias.uqroo.mx/ordenamiento/Diagnosticos/DIAG\\_INT\\_UNICO.pdf](http://www.ciencias.uqroo.mx/ordenamiento/Diagnosticos/DIAG_INT_UNICO.pdf)). (Consultada el 5 de octubre del 2007).

García-Céspedes, J. J. Acuña-González y J. A. Vargas-Zamora. 2004. Metales traza

en sedimentos costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Trópica*. Vol. 52. N° 2. p.p.

García-Rico, L., M. S. Soto-Cruz, M. E. Jara-Marini y A. Gómez-Alvarez. 2004. Fracciones geoquímicas de Cd, Cu y Pb en sedimentos costeros superficiales en zonas ostrícolas del Estado de Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 20. N° 004. pp.159-167.

Giddings, E. M., M. I. Hornberger y H. I. Hadley. 2001. Trace-metal concentrations in sediment and water and health of aquatic macroinvertebrate communities of streams near park city, Summit County, Utah. *Science for a changing world. Water-resources investigations report 01-4213*.

Gillan, D. C., B. Danis, P. Pernet, G. Joly y P. Dubois, P. 2005. Structure of sediment-associated microbial communities along a heavy-metal contamination gradient in the marine environment. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 71. N° 2. p.p. 679-690.

González, E., R. Ahumada y V. Medina. 2004. Espectrofotometría de absorción atómica con tubo en la llama: Aplicación en la determinación total del cadmio, plomo y zinc en aguas frescas, agua de mar y sedimentos marinos. *Quim. Nova*. Vol. 27. N° 6. p.p. 873-877.

González-Fairén, A. 2005. (En línea). Vivir bajo el fondo del océano. ([http://www.espacial.org/planetarias/astrobiologia/vivir\\_fondo\\_oceano.htm](http://www.espacial.org/planetarias/astrobiologia/vivir_fondo_oceano.htm)). (Consultada el 2 de septiembre del 2007).

González-Lozano, M. C., L. C. Mendez-Rodríguez, D. G. López-Veneroni y A. Vázquez-Botello. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Interciencia*. Vol. 31. N° 9. p.p. 647-656.

- Hu, Z., R. Navarro, N. Nomura, H. Kong, S. Wijesekara y M. Matsumura. 2007. Changes in chlorinated organic pollutants and Heavy metal content of sediment during pyrolysis. *Env. Sci. Pollut. Res.* Vol. 14. N° 1. p.p. 12-18.
- INE. 2001. (En línea). Bases de política para la prevención de la contaminación del suelo y su remediación. (<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/343/element.html>). (Consultada el 2 de octubre del 2007).
- INE. 2006. (En línea) Reglamento interior de la Secretaria de medio ambiente y Recursos Naturales. ([http://www.ine.gob.mx/ueajei/download/reg\\_semarnat.pdf](http://www.ine.gob.mx/ueajei/download/reg_semarnat.pdf)). (Consultada el 2 de octubre del 2007).
- Keller, A., B. Steiger, S. Zee y R. Schulin. 2001. A Stochastic Empirical Model for Regional Heavy-Metal Balances in Agroecosystems. *J. Environ. Qual.* Vol. 30. p.p.1976–1989.
- Lentech. 2007. (En línea). Cadmio. (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/Cd.htm>. 2007).(Consultada el 25 de septiembre del 2007).
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 2006. Ediciones Delma. Primera edición. p.p. 71-77.
- Licata, M. 2007. (En línea). El zinc en la nutrición. (<http://www.zonadiet.com/nutrición/zinc.html>). (Consultada el 25 de septiembre del 2007).
- Linge, K. L. y C. E. Oldham. 2002. Arsenic remobilization in a shallow lake: The role sediment resuspensión. *Journal Environ. Qual.* Vol. 31. p.p. 822-828.
- Luque, C. J., Castellanos, E. M., Castillo, J. M., González, M., González-Vilches, M.

- C. y Figueroa M. E. Año. Distribución de metales pesados en sedimentos de las marismas del ediel (Huelva, SO. España). Cuaternario y Geomorfología. Vol. 12. N° 3-4. p.p. 77-85.
- Marín-Guirao, L. A. César, A. Marín y R. Vita. 2005. Assessment of sediment metal contamination in the mar menor coastal Lagoon (Se Spain): Metal distribution, toxicity, bioaccumulation and benthic community structure. Ciencias Marinas. Vol. 31. N° 002. p.p. 413-428.
- Meneses-González, F., M. Lino-González, A. Rivero, J. Simón-Domínguez, E. Palazuelos-Rendón, L. C. Moreno-López y M. Hernández-Ávila. 2001. Niveles de plomo en la sangre: Control de calidad del laboratorio de metales del centro médico ABC. Análisis Médicos Hospital ABC. Vol. 46. N°4. p.p. 165-168.
- Monteiro, P. M. S. y A. N. Roychoudhury. 2005. Spatial characteristics of sediment trace metals in an eastern boundary upwelling retention area (St. Helena Bay, South Africa): A hydrodynamic-biological pump hypothesis. Estuarine Coastal and Shelf Science. Vol.65. p.p. 123-134.
- Nars, S. M., M. A. Okbah y S. M. Kasem. 2006. Environmental assessment of heavy metal pollution in botton sediments of Aden Port, Yemen. International Journal of Oceans and Oceanography. Vol. 1. N° 1. p.p. 99-109.
- Navarro E. 2006. Adsorción de metales por polímeros. Revista Iberoamericana de Polímeros. Vol. 7. N° 2. p.p. 114-121.
- Obasohan, E. E., J. A. O. Oronsaye y O. I. Eguavoen. 2007. determination of post-dredging concentratonsof selected trace metals in water, sediment and the freshwatermudfish (*Clarias gariepinus*) from Ikpoba river in Benin city, Edo. State Nigeria. African Journal of Biotechnology. Vol. 6. N° 4. p.p. 470-474.

Ozuna, C. 2007. (En línea). Cobre: Propiedades. (<http://www.arqhys.com/construccion/cobre-propiedades.html>). (Consultada el 24 de Septiembre del 2007).

Paniagua-Contreras, G. L., E. Monroy-Perez, S. Vaca-Pacheco y S. E. González-Almazán. 2003. Resistencia a antibióticos y metales pesados en cepas clínicas de *Staphylococcus aureus*. Revista Médica del Hospital General de México, S. S. Vol. 66. N° 1. p.p. 13-21.

Petrik N. 2007. (En línea). El cobre en la vida cotidiana. (<http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/cobre.htm>). (consultada el 25 de septiembre del 2007).

Pino, J. C. 2005. (En línea) Síntesis de la situación actual de la cienega de mallorquin con énfasis en la contaminación. (<http://www.crautonomia.gov.co/mallorquin.htm>). (Consultada el 2 de octubre del 2007).

Puga, S., M. Sosa, T. Lebgue y C. Quintana. 2006. Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. Ecología Aplicada. Vol. 5. p.p.149-155.

Rae, J. E. y J. R. L. Allen. 1993. The significance of organic matter degradation in the interpretation of historical pollution trends in depth profiles of stuarine sediment. Estuaries. Vol. 16. N° 3B. p.p. 678-682.

SAGARPA. 2001. (En línea). Anuario estadístico de la producción agropecuaria 2001. (<http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/ANUARIO%202001.pdf>). (Consultada el 10 de agosto del 2001).

Sanchez-Albavera, F. y J. Larde. 2006. (En línea). Minería y competitividad internacional en América Latina. p.p. 103. (<http://www.books.google.com.mx>). (Pagina Consultada el 24 de Septiembre del 2007).

del 2007).

Schmidt, U. 2003. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plantaccumulation, and leaching of heavy metals. *Journal Environ. Qual.* Vol. 32. p.p. 1939-1954.

Sowder, A. G., P. M. Bertsch y P. J. Morris. 2003. Partitioning and availability of uranium and nickel in contaminated riparian sediments. *Journal Environ. Qual.* Vol. 32. p.p. 885-898.

Suarez, P. y R. Reyes. 2002. La incorporación de metales pesados en las bacterias y su importancia para el ambiente. *Interciencia.* Vol. 27. N° 4. p.p. 160-164.

Trimble, C. A., R. W. Hoenstine y A. B. Highley. 1999. Baseline sediment trace metals investigation: Steinhatchee river stuary, Florida, Northeast Gulf of Mexico. *Marine Georesources and Geotechnology.* Vol. 17. p.p. 187-197.

Valdez-Perezgasga, F. y V. M. Cabrera Morales. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. *Texas center for policy studies y CILADHAC.* Primera edición. p.p. 1-46.

Valencia-Castro, C. M. 2005. Conservación de ecosistemas naturales en la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo.* Vol. 4. N° 2. p.p. 1-8.

Vandecasteele, B., E. Meers, E. Verbaeke, B. Vos, P. Quataert y F. M. G. Tack. 2005. Growth and trace metal accumulation of two *Salix* clones on sediment-derived soils with increasing contamination levels. *Chemosphere.* Vol. 58. p.p. 995-1002.

Vargas-Rodríguez, L. E. y J. Chira-Fernandez. 2006. (En línea). Dispersión Geoquímica de metales pesados en la cuenca alta de los ríos Chancay y

Lambayeque-Cajamarca implicancias ambientales.  
(<http://www.ingemmet.gob.pe/publicaciones/Cap4-Trab5.pdf>). (Consultada el 3 de octubre del 2007).

Villalobos-Jauregui A., F. Valdez-Perezgasga, G. G. García-Vargas y J. Alonso-Chamarro. 2006. Predicción del riesgo a la salud infantil en una zona contaminada por plomo. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. Vol. 27. N° 1. p.p. 8-15.

Vullo, D. L. 2003. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Revista Química Viva*. Vol. 2. N° 3. p.p. 1-10.

Ward, T. J. y P. C. Young. 1982. Effects of sediment trace metals and particle size on the community structure of epibenthic seagrass fauna near a lead Smelter, South Australia. *Marine Ecology-Progress Series*. Vol. 9. p.p. 137-146.

WIKIPEDIA. 2007a. (En línea). Arsénico. (<http://www.wikipedia.org/wiki/Ars%C3%A9nico>). (Consultada el 20 de septiembre del 2007).

WIKIPEDIA. 2007b. (En línea). Cadmio. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Cadmio> 2007). (Consultada el 20 de Septiembre del 2007).

WIKIPEDIA. 2007c. (En línea). Plomo. (<http://www.wikipedia.org/wiki/plom%>). (Consultada el 25 de septiembre del 2007).

Wong, C. S. C., S. C. Wu, N. S. Duzgoren-Aydin, A. Aydin y M. H. Wong. 2006. Trace metal contamination of sediments in an e-waste processing village in China. *Elsevier Environmental Pollution*. Vol. 20. p.p. 1-9.