

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



“Determinación de Metales Pesados (Cd, Pb, Zn, As) en Suelos agrícolas del Ejido San Miguel Municipio de Matamoros Coahuila”

POR:

ANAYELI HERNANDEZ ALBORES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TITULO DE

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DEL 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Determinación de Metales Pesados (Cd, Pb, Zn, As) en suelos agrícolas del Ejido San Miguel Municipio de Matamoros Coahuila.”

TESIS ELABORADO POR LA C. ANAYELI HERNANDEZ ALBORES BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

Asesor Principal: _____

MC. MIGUEL ANGEL URBINA MARTÍNEZ

Asesor: _____

MC. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA

Asesor: _____

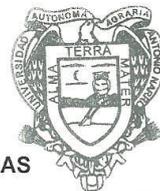
ING. RUBI MUÑOZ SOTO

Asesor: _____

Q.F.B. NORMA LYDIA RANGEL CARRILLO

Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Determinación de Metales Pesados (Cd, Pb, Zn, As) en suelos agrícolas del Ejido San Miguel Municipio de Matamoros Coahuila.”

TESIS DE LA C. ANAYELI HERNANDEZ ALBORES QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

COMITÉ EXAMINADOR:

PRESIDENTE _____

MC. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

VOCAL _____

MC. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA

VOCAL _____

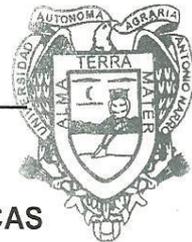
ING. RUBI MUÑOZ SOTO

VOCAL SUPLENTE _____

MC. VICTORIA JARED BORROEL GARCIA

Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2012

DEDICATORIAS

A DIOS

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A MIS PADRES

Jaime Hernández Aguilar y Adela Albores Padilla, primeramente gracias por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron en todo momento, por sus consejos, por su ejemplo de perseverancia y constancia, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por ser la persona que me enseñó a ser quien soy, pero más que nada, por su amor incondicional. Papitos gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes los amo.

A MIS ABUELOS

Teófilo Albores Palacios Y Carmen Padilla Cruz, por quererme y apoyarme siempre, sobre todo por sus buenos consejos, esto también se lo debo a ustedes. A mi abuela **Elena Hernández** por su afecto y cariño, También para mi abuelo **Armando Albores Velázquez** (QEPD) gracias a ti mi cabecita blanca por todos tus consejos y ejemplos que me enseñaste durante la etapa de la prepa por eso he llegado hasta donde estoy y esto también te lo dedico a ti y gracias por todo.

A MIS HERMANOS

Elena, Madali, Verónica, José Jaime, por estar a cada momento conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A MI SOBRINO, Alfredo Emanuel, por llenar mi vida de alegría.

A MIS FAMILIARES: Tíos, Padrinos, Primos Y A Mi Cuñado, gracias por brindarme cariño y apoyo gracias por estar conmigo a cada momento los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS.

A MI ALMA MATER

Por darme la formación profesional necesaria para enfrentar los problemas de la vida profesional.

A MIS ASESORES

MC. Miguel Ángel Urbina Martínez, MC. Cynthia Dinorah Ruedas Alba, Ing. Rubí Muñoz Soto, Q.F.B. Norma Lydia Rangel Carrillo. Por la orientación y ayuda que me brindaron para la realización de esta tesis, por su apoyo y amistad que permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto.

A MIS PROFESORES

A quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió, abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

A MIS AMIGOS(A)

A todos mis amigos(a) y compañeros(a) de la carrera, en cada uno de ustedes hay una persona muy especial. He aprendido y disfrutado con ustedes mis horas de estudio, gracias por la ayuda cuando en ocasiones me he sentido sola y perdida, gracias por esa bonita amistad sincera. Los voy extrañar.

INDICE

I.	DEDICATORIAS.....	I
II.	AGRADECIMIENTOS.....	II
III.	INDICE.....	III
IV.	INDICE DE CUADROS.....	IV
V.	RESUMEN.....	V
VI.	ABSTRACT.....	VI
VII.	INTRODUCCIÓN.....	1
VII.1	OBJETIVOS	3
VII.1.1	OBJETIVO GENERAL.....	3
VII.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	3
VII.2	HIPÓTESIS	4
VIII.	REVISIÓN DE LITERATURA	5
VIII.1	METALES PESADOS	5
VIII.2	IMPORTANCIA DE LOS METALES PESADOS.....	6
VIII.2.1	IMPORTANCIA AMBIENTAL Y ECONÓMICA.....	6
VIII.2.2	IMPORTANCIA A LA SALUD.....	7
VIII.2.3	DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO.....	8
VIII.2.4	ARSÉNICO.....	23
VIII.2.5	CADMIO.....	26
VIII.2.6	COBRE.....	28
VIII.2.7	PLOMO.....	32
VIII.2.8	ZINC.....	35
VIII.3	CONTAMINACIÓN DE SUELO, AGUA Y SEDIMENTO CON METALES PESADOS.....	39
VIII.3.1	SUELO.....	39
VIII.3.2	AGUA.....	41
VIII.3.3	SEDIMENTOS.....	44
VIII.4	LEY, REGLAMENTO Y NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE SUELO, AGUA Y SEDIMENTOS.....	50
VIII.4.1	SUELO.....	52
VIII.4.2	AGUA.....	56
VIII.4.3	SEDIMENTO.....	62
IX.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	62
IX.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO ..	63
IX.2	DETERMINACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.....	64
IX.3	TOMA DE MUESTRAS	64
IX.4	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	64

IX.5	ANÁLISIS QUÍMICO DEL SEDIMENTO.....	64
IX.6	ANÁLISIS DE METALES PESADOS Y ARSÉNICO	65
IX.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	65
X.	RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.	65
XI.	RECOMENDACIONES.....	67
XII.	BIBLIOGRAFIA.....	68

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Localización geográfica de los puntos de muestreo.....	63
Cuadro 2	Concentración de metales pesados utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380.....	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

Los metales pesados son cada vez más el punto de investigación por su gran importancia en el tema de contaminación ambiental a nivel mundial y nacional. Uno de los principales problemas es el de la contaminación de los cultivos por estos metales, ya que los cultivos sembrados en áreas contaminadas pueden traslocar o biocancentrarlos y pasarlos a la cadena atrófica ocasionando severos daños en la salud humana. El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar la concentración de metales pesados (Pb, Zn, Cd) y de arsénico (As). El predio en estudio fue una parcela de siembra de maíz forrajero ubicado en la comunidad de San Miguel municipio de Matamoros Coahuila. Se realizó un muestreo, el 11 de octubre del 2011. Para determinar la concentración de metales pesados se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380, el cual es un aparato muy utilizado para el estudio cuantitativo de casi todos los metales de la tabla periódica. Con base en los resultados obtenidos, se observó la presencia de plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), cadmio (Cd), nitratos (NO_3) y materia orgánica. Se determinó que los metales en estudio se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos por las normas internacionales con la que se compararon (EPA y Holanda). La presencia de metales encontrados en el presente trabajo es posible que se deba a las fertilizaciones excesivas que se aplican a los cultivos que se desarrollan en las comunidades aledañas al predio.

Palabras Clave: Metales pesados, Suelo, cultivos, Medio ambiente, Contaminación.

ABSTRACT

Heavy metals are increasingly research point for its great importance in the field of environmental pollution globally and nationally. One of the main problems is the pollution of crops by these metals, as the crops grown in contaminated areas or biocantrarlos can translocate to the string and pass atrophic causing severe damage to human health.

This study was conducted in order to determine the concentration of heavy metals (Pb, Zn, Cd) and arsenic (As).

The site under study was a plot forage maize seed located in the community of San Miguel Matamoros Coahuila. Were sampled, the October 11, 2011.

To determine the concentration of heavy metals is used the atomic absorption spectrophotometer of Perkin Elmer model 2380, which is a widely used device for the quantitative study of almost all metals of the periodic table. Based on the results, we observed the presence of lead (Pb), copper (Cu), zinc (Zn), cadmium (Cd), nitrate (NO₃) and organic matter.

It is determined that the study metals are outside the limits set by international standards with which we compared (EPA and Holland). The presence of metals found in the present study may be due to excessive fertilizer applied to crops grown in the communities surrounding the campus.

Keywords: Heavy metals, soil, crops, Environment.

I. 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 se 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 edafización 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).

I.1 Objetivos

I.1.1 Objetivo general.

El objetivo General de esta Tesis de licenciatura consiste en Caracterizar el Estado actual de los Suelos Agrícolas con Cultivos Hortícolas de la Comarca Lagunera. Para alcanzar este Objetivo, se han Planteado diferentes objetivos específicos.

I.1.2 Objetivos específicos:

- Analizar las propiedades y características edáficas de estos suelos agrícolas.
- Determinar el contenido total y extraíble de cuatro metales pesados (As, Cd, Pb, Zn) en diferentes muestras de suelos seleccionadas aleatoriamente.
- Determinar el contenido de los metales pesados anteriormente mencionados en algunos cultivos hortícolas, evaluando las diferencias respecto a las prácticas agrícolas principalmente el riego.
- Evaluar características fisiológicas de los cultivos bajo los diferentes tipos de prácticas agrícolas y correlacionarlas con los niveles de metales pesados.
- Realizar una propuesta de niveles de fondo y valores de referencia para metales pesados en este tipo de suelos.

I.2 Hipótesis

- Los suelos de los alrededores de la Comarca Lagunera presentan una concentración de metales pesados como (As, Cd, Pb, Zn), 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.
- 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.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

II.1 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^3 . 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).

II.2 Importancia de los Metales Pesados.

II.2.1 Importancia Ambiental y Económica.

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).

II.2.2 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).

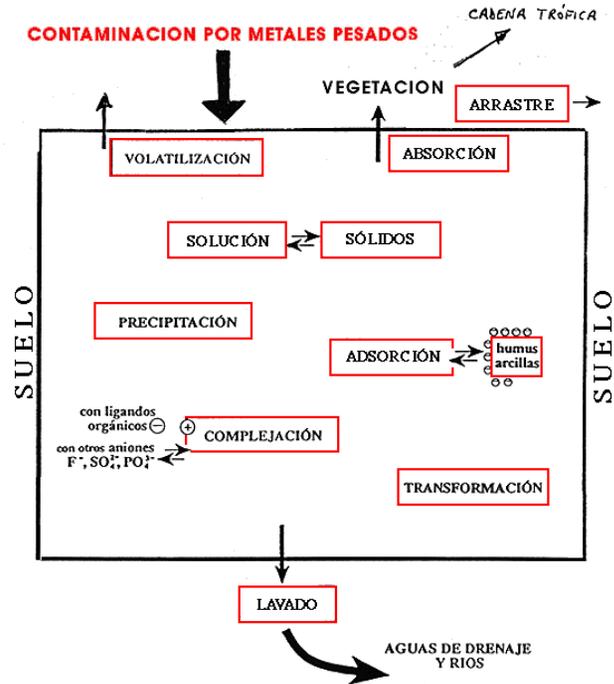
Los factores de riesgo para el envenenamiento por metales pesados, incluyen trabajar en agricultura, desarrollo de medicamentos, manufactura y exposición a contaminación ambiental (Navarro, 2006).

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).

II.2.3 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 moverse a las aguas superficiales o subterráneas como se esquematiza en el siguiente cuadro (adaptado de Calvo Anta, 1996).

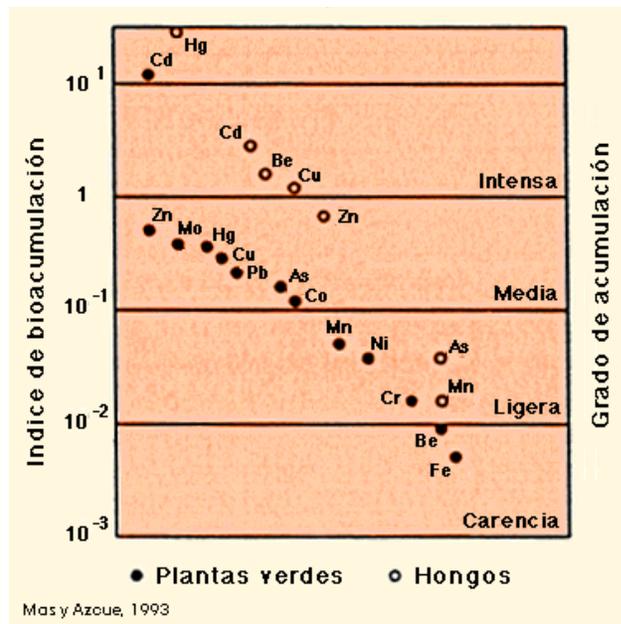


Riesgos y legislación en materia de suelos contaminados por metales pesados

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.



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)₂. 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 Antropogénicas.

Las actividades humanas han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en suelos.

Productos químicos agrícolas y lodos residuales.

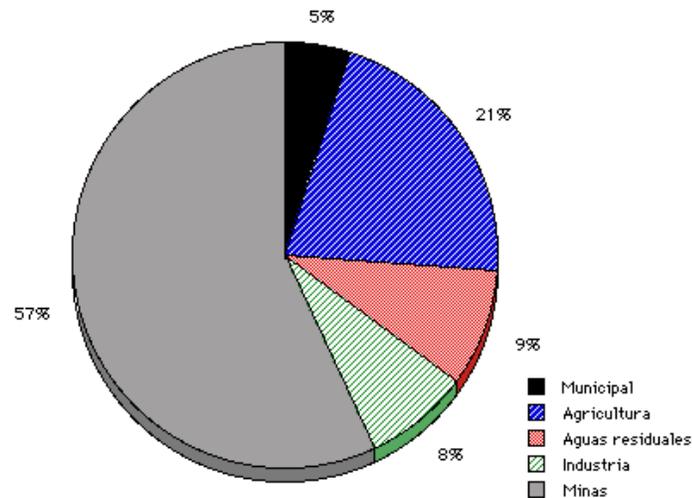
Actividades de minería y fundición. El proceso de minería implica: la extracción de las menas, el procesamiento preliminar, la evacuación de los residuos y transporte de los productos semi-procesados. Todas estas operaciones pueden producir una contaminación localizada de metales. El polvo originado 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.

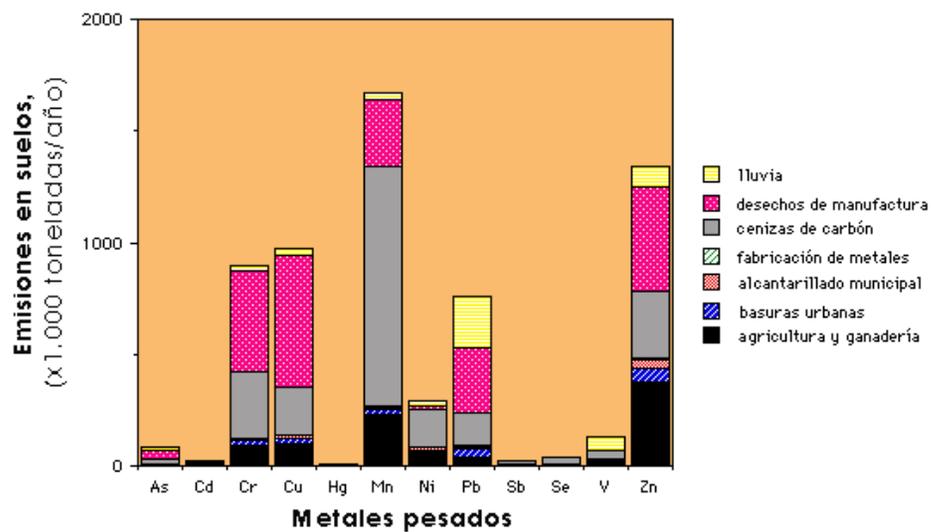
Residuos domésticos. Aproximadamente el 10% de la basura está compuesta de metales. Uno de los problemas más serios de las sociedades modernas es como deshacerse de este volumen de basuras. Las dos alternativas son enterrar o incinerar. El enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras 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.



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:



Factores del suelo que afectan su acumulación y disponibilidad.

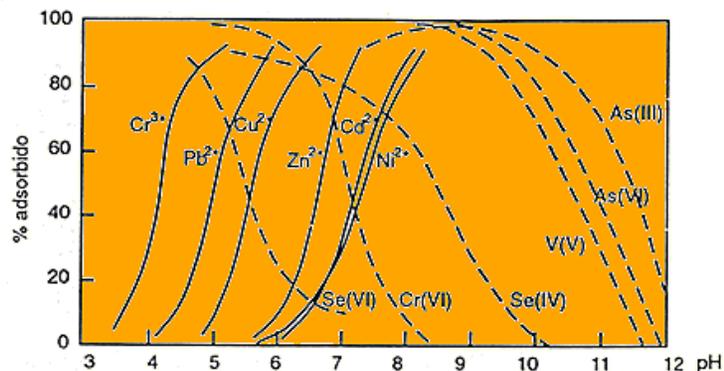
La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino que las características del suelo donde se encuentre van a ser decisivas. La sensibilidad de los suelos a la agresión de los agentes contaminantes va a ser muy distinto dependiendo de una serie de características edáficas.

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 sus solubilidad).



Influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales y oxianiones metálicos sobre hidróxidos de Fe amorfo (Manzione y Merri, 1989)

- **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 migrar 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.**

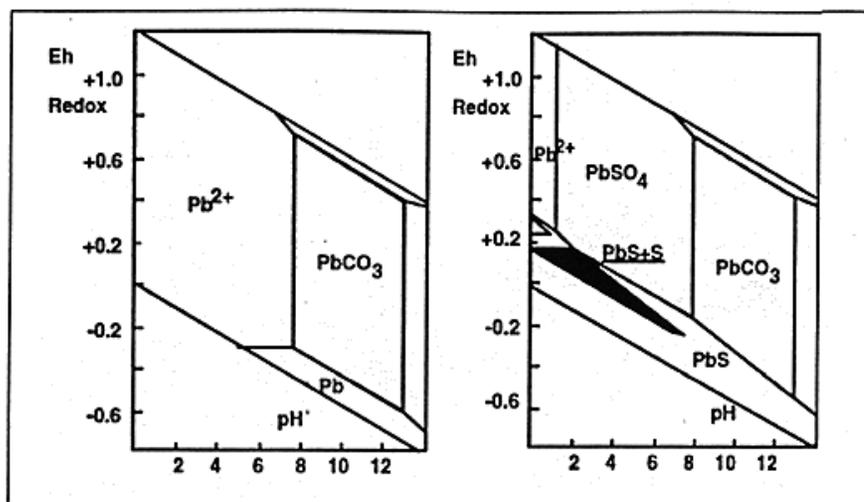
El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido. Los diagramas Eh-pH se utilizan para mostrar la estabilidad de compuestos de metales pesados y proporciona un método fácil para predecir el comportamiento de los metales pesados frente a un de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

1) Cambio directo en la valencia de ciertos metales; por ejemplo, en condiciones reductoras el Fe^{3+} se transforma en 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 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 S²⁻ hasta convertirse en pirita. Cuando los suelos y sedimentos contienen cantidades significantes de pirita y aumenta el Eh (creación de condiciones mas oxidantes) el S²⁻ se oxida a SO₄⁼ liberando cantidades de H₂SO₄, 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

La fase estable dominante es PbCO₃, que se hace más inestable si las condiciones ambientales son más ácidas. El PbCO₃ 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.

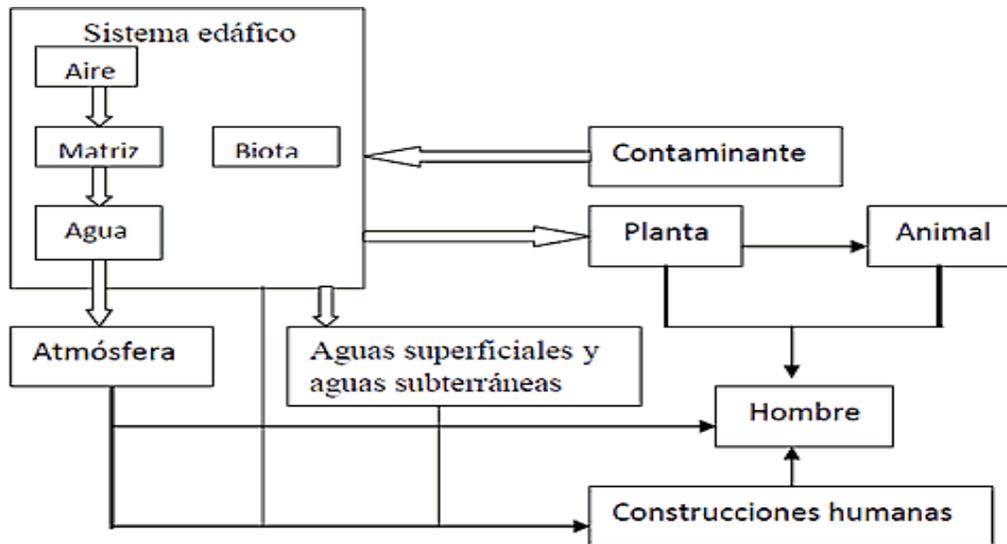
En definitiva, según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos.

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.



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.

Umbral 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.

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.

II.2.4 Arsénico.

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 52º. 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).

II.2.4.1 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/m³; 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 tetraatómicas (As_4) que se disocian en moléculas diatómicas (As_2) a temperaturas superiores a los 800 °C (WIKIPEDIA, 2007a).

II.2.4.2 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_2S_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).

II.2.4.3 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).

II.2.4.4 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).

II.2.5 Cadmio.

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).

II.2.5.1 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).

II.2.5.2 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).

II.2.5.3 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).

II.2.5.4 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).

II.2.6 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).

II.2.6.1 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/cm³. 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).

II.2.6.2 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).

II.2.6.3 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 anomalías esqueléticas, especialmente la desmineralización. Otras alteraciones que siguen son hemorragias subperiosteas, 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).

II.2.6.4 Fuentes.

El Cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de aceite. El Cobre es una sustancia 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).

II.2.7 Plomo.

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

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

II.2.7.1 Propiedades.

El plomo es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es Pb y su número atómico es 82 según la tabla actual, ya que no formaba parte en la tabla de Mendeleev. Este químico no lo reconocía como un elemento metálico común por su gran elasticidad molecular. El plomo es un metal

pesado, de densidad relativa o gravedad específica 11,4 a 16°C, de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fundición se produce a 327,4°C y hierve a 1725°C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Los cuatro isótopos naturales son, por orden decreciente de abundancia, 208, 206, 207 y 204. Se cristaliza en el sistema cúbico en forma de cara centrada invertida (WIKIPEDIA, 2007c).

II.2.7.2 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).

II.2.7.3 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).

II.2.7.4 Fuentes.

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

II.2.8 Zinc.

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).

II.2.8.1 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 (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).

II.2.8.2 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).

II.2.8.3 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).

II.2.8.4 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).

II.3 Contaminación de Suelo, Agua y Sedimento con Metales Pesados.

II.3.1 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, galvanoplastía 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 Zinc con distancia a la fuente y el Cadmio con la distancia a la fuente, pH y profundidad de suelo.

II.3.2 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 arrojamamos 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.

II.3.3 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 μm 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 μm , 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 (FeS_2 , HgS, CdS, CuS, MnS y 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.

II.4 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).

II.4.1 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 Secretarías 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:

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.

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).

II.4.1.1 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).

II.4.1.2 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)**.

II.4.2 Agua.

II.4.2.1 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 explotarlas, 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).

II.4.2.2 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).

II.4.2.3 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).

II.4.3 Sedimento.

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).

III. 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.

III.1 Localización geográfica de los puntos de muestreo

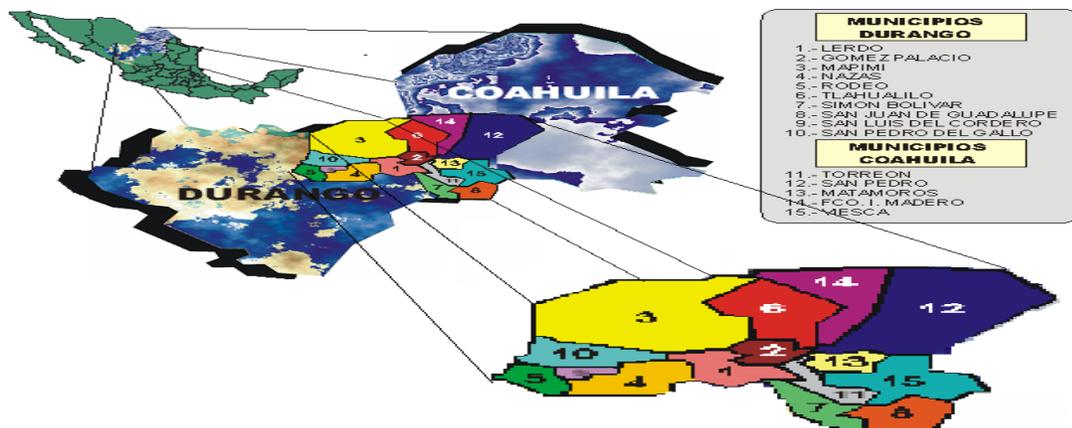
El punto de muestreo y su localización geográfica se presentan en el cuadro 1 y la ubicación geográfica se muestra en la gráfica 1.

Cuadro 1 Localización geográfica del punto de muestreo

Sitio	Localización geográfica	Altura sobre el nivel del mar
Matamoros.	W: 103° 13' 41" N: 25° 31' 40" W: 103° 44' 033"	1120 m

Clima

Según la clasificación de Köppen, modificado por García (1981), el clima es seco desértico o estepario cálido con lluvias en el verano e inviernos frescos. La precipitación pluvial es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1°C, con rangos de 38.5 como media máxima y 16.1 como media mínima, la presencia de las heladas ocurren de noviembre a marzo y raras veces en octubre y abril; mientras que la presencia de granizadas se da entre mayo y junio. La evaporación anual media aproximadamente es de 2396 mm.



Gráfica 1.- Ubicación geográfica del área de estudio.

III.2 Determinación de los sitios de muestreo

Se eligió una localidad de la Comarca Lagunera:

- 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.

III.3 Toma de muestras

El muestreo se realizó utilizando la técnica al azar tomando muestras de 0-15, 15-30, en cada uno de los puntos, las muestras se obtuvieron en el mes de octubre del 2011.

III.4 Preparación de la Muestra.

Se tomaron las muestras en bolsas de plástico de 1 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.

III.5 Análisis Químico del Sedimento.

PH	Extracto de pasta de suelo a Saturación Potenciómetro Termo Orion Mod-420.
Conductividad Eléctrica mS/cm	Extracto de pasta a saturación Conductivímetro Orion Mod-162
Materia Orgánica %	Walkley y Black modificado.

Nitratos N-NO₃ ppm

Extracción con hidróxido de calcio.

Sales.

(As, Cd, Pb, Zn, Mg, Cu, Hg).

Extracción con HNO₃ 4 M
Y leído en aparato de absorción Atómica.

III.6 Análisis de metales pesados y arsénico

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 de tiras.

III.7 Análisis Estadístico

No se establecerá un diseño experimental convencional debido a la amplitud de la Comarca Lagunera y la diferencia geográfica entre las localidades. Por esa razón se realizarán muestreos en cada localidad considerando cada punto de muestreo como una unidad experimental por lo cual se realizarán análisis multivariados apropiados.

- Descripción Estadística de las Variables.

Esta actividad se iniciará con el uso de los métodos estadísticos clásicos para caracterizar las variables, Los datos de las variables que no se distribuyan normalmente se transformaran logarítmicamente.

IV. RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.

- En general se observó que las variables de textura son muy similares entre las diferentes localidades en estudio. La materia orgánica presenta los valores más altos en las localidades bajo riego con agua residual y aquella bajo tratamiento de abono orgánico.
- Sin embargo, los valores para los diversos nutrimentos esenciales tales como N, P, K, etc., son en este momento totalmente diferentes, en los tres sitios experimentales.
- Se puede observar en los resultados mostrados que existe una concentración excesiva de metales pesados en los tres sitios de muestreo que rebasan los límites máximos permisibles según la Norma 001- Ecol – 1996.

Metales.	SAN MIGUEL 0-15 cm	SAN MIGUEL 15-30 cm	P.D	P.M.
(Plomo) ppm.	27.15	24.30	10.0	5.0
(Cadmio) ppm.	0.296	0.249	0.1	0.5
(Zinc) ppm.	23.74	19.01	20.0	10.0
(Arsénico) ppm. Analizado en el extracto a saturación	0.20	0.20	0.4	0.2

Acido Nítrico

METODO MERCKOQUANT TIRAS REACTIVAS.

NOM-001-ECOL-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y Bienes Nacionales. Fecha de publicación en Diario Oficial Enero 6, 1997.

NOM-002-ECOL-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas Residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal.

V. RECOMENDACIONES.

- Según lo reportado por Prieto-Méndez *et al.*, (2009), el plomo puede causar diversos daños en las plantas y en diferentes grados de acumulación. En algunas especies, la acumulación de plomo, a medida que se aumentan las dosis de este en el suelo hasta 1000 mg Kg^{-1} de Pb, tiende a incrementarse rápidamente en los órganos de las plantas hasta que éstas no lo toleran y mueren.
- Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación, se detectó la presencia de metales pesados en los suelos analizados.
- Los niveles que se encontraron de metales pesados en las muestras de suelo de cada sitio analizado fueron superiores a los límites máximos permisibles que establecen las normas internacionales en su mayoría, siendo el Arsénico y el Plomo los dos elementos que se encontraron con mayor concentración en los dos sitios de muestreo fuera de norma (EPA y Holanda).
- La relación más alta respecto a los análisis físico-químicos fue la del Arsénico con la materia orgánica con un valor de $r^2=0.85325$ confirmando su importancia en la acumulación de los metales en el suelo. Respecto a la relación de la textura con la acumulación del metal en el suelo, la mayor relación es con el limo en lo que se refiere a plomo, cobre y zinc.
- Como argumentan Meharg y Hartley-Whitaker (2002), estudios del arsenato (la forma dominante de arsénico fitobioable en la parte aeróbica de los suelos) han manifestado ser tóxico para ciertas especies de plantas que ya no resisten el estrés causado por la presencia y exposición exagerada al arsénico, con síntomas en la inhibición y crecimiento de las raíces.

VI. 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). (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). (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_artículo=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-Sanchez. 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). (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 Trópic*. 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 cádmio, 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). (Consultada el 2 de septiembre del 2007).
- González-Lozano, M. C., L. C. Mendez-Rodriguez, 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). (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 resuspension. *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>). (Página Consultada el 24 de Septiembre del 2007).
- Schmidt, U. 2003. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, 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 estuary, 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.